LEZIONI ELEMENTARI

DI

MACCHINE A VAPORE

DATE

NEL R. ISTITUTO DI MARINA MERCANTILE DI PALERMO

DA ROBERTO GILL

TESTO

PALERMO
LUIGI PEDONE LAURIEL   GIUS. PEDONE LAURIEL
EDITORI.
1870.

LEZIONI

DI

MACCHINE A VAPORE

Digitized by Google

LEZIONI ELEMENTARI

DI

MACCHINE A VAPORE

DATE

NEL R. ISTITUTO DI MARINA MERCANTILE DI PALERMO

DA ROBERTO GILL

TESTO

PALERMO
LUIGI PEDONE LAURIEL, EDITORE.
1870.

Digitized by Google

PREFAZIONE.

Sarebbe senza dubbio superfluo oggidì estollere il grandioso ordigno, argomento di queste Lezioni, con lo scopo di accrescere il desiderio di conoscerne il meccanismo: chi ignora i meravigliosi effetti operati dalla macchina a vapore nel breve spazio di un secolo? Le distanze immensamente raccorciate; il tragitto degli oceani senza l'ajuto dei capricciosi venti; i tesori minerali strappati alle viscere della terra e distribuiti dappertutto; le nuove sorgenti di ricchezza e di ben essere e di progresso provenienti dall'applicazione di questo gigante potentissimo a quei lavori che prima eran forniti imperfettamente dagli uomini; la diffusione oltremodo agevole del sapere; il consorzio delle più lontane genti; e la maggiore civiltà risultante da questi e innumerevoli altri prodigj effettuati dalla prestantissima macchina?

E credo utile invece accennare l'intendimento del libro e la maniera seguita per raggiungere il suo scopo. La conoscenza completa della macchina a vapore comprende cognizioni svariatissime e profonde; e son

Digitized by Google

pochi quelli cui sia necessaria una tale completa conoscenza. Essa può riguardarsi sotto tre aspetti : èvvi chi vuol solamente comprendere *la macchina a vapore in tutte le sue parti e darsi conto del suo operare ; èvvi chi abbisogna, oltre di ciò, di un certo corredo di conoscenze pratiche, poichè suo scopo è* maneggiare *la macchina; finalmente chi vuol* disegnare *macchine a vapore vuol conoscerne a fondo la teorica, oltre al rimanente ed alle leggi della meccanica costruttiva. Lo scopo di queste Lezioni si è: porgere le cognizioni bisognevoli a ben comprendere la grandiosa macchina, senza nè scendere nel campo pratico del macchinista, nè elevarsi a quello teoretico del costruttore; in modo da fornire un primo gradino, sufficiente in sè medesimo per chi brama una conoscenza generale del subietto, e base utilissima a chi voglia salire ancor più alto.*

A fine di rendere giovevoli a ognuno queste Lezioni, io ho cercato di vestirle in linguaggio quanto più possibile piano, e scevro di maniere tecniche, *tanto dal lato pratico quanto dallo scientifico; e nel medesimo*

Digitized by Google

tempo ho procurato di asserire quanto più meno possibile, convinto che la sola conoscenza di un fatto, priva di un raziocinio che lo attacchi agli altri già noti, non solo lascia nella mente un'impressione troppo fuggitiva, ma aggiunge poco alle nostre cognizioni utili. S' intende per altro che ne' limiti di un libro elementare un tale sistema non può applicarsi completamente: tuttavia mi vi sono uniformato sempre che hò potuto; e se a qualcuno le mie dimostrazioni avessero a sembrare talvolta troppo semplici e non necessarie, avrei solo da ricordargli non esser scritte queste pagine pe' dotti.

Nella parte I è dato un breve cenno delle qualità fisiche de' gas e del vapore d' acqua, e si è cercato di spiegare secondo la nuova teorica del calore i fenomeni presentati da questi corpi, e che formano la base sopra cui si erge tutta la scienza dei motori a fuoco. E mi duole che nel brevissimo spazio che si è potuto assegnare a tali cenni, appena si scorgono i contorni di questa nobilissima teorica, la quale quan-

Digitized by Google

tunque giunta in poco tempo ad alta perfezione, è ancora poco diffusa in forme elementari. Nella seconda parte è abbozzata a grandi tratti la storia della macchina a vapore; e si è creduto utile far precedere tali notizie poichè lo svolgimento in ordine di tempo risponde benissimo a quello che si sarebbe scelto in ordine allo sviluppo graduale delle cognizioni; e infatti dagli ingegni più rozzi e più semplici si è condotti mano mano alle macchine più complete, e giunti alla epoca di Watt si conosce già in maniera generale tutto il congegno della macchina. Indi, nella parte III, si descrivono i varj organi meccanici che compongono la macchina a vapore; nella IV s'investigano le caldaje; nella V i condensatori diversi, e si completa così la descrizione delle varie parti componenti. In queste Lezioni cennate, i diversi organi sono descritti indipendentemente l'uno dall'altro, in guisa da non legare le idee ad un sistema di macchina anzichè a un altro, e per conseguenza riesce agevole, nella parte VI, mostrare alcune delle maniere in cui quegli organi si

Digitized by Google

riuniscono per costituire i varj sistemi di macchine. Si passa di poi allo studio delle maniere di stimare la potenza delle macchine a vapore, e ciò forma la parte VII. Finalmente nella VIII è toccato di volo l'argomento de' propulsori, ed è data qualche idea de' varj sistemi di macchine adoperati ne' piroscafi.

Il campo è vasto; ed io ho condotto il lettore a visitarne solamente le più notevoli cose; spero per altro che tale visita lo invogli a ripetervi le sue escursioni, e con più fida scorta; sicuro che il frutto ch'egli ne potrà cogliere sarà ben degno delle sue fatiche.

Nel chiudere queste parole mi si conceda di porgere al mio amico e maestro, l'egregio professore Blaserna, l'espressione della mia più sentita gratitudine per i consigli e gli ajuti affettuosissimi di che mi è stato largo; e ai quali io dovrò in parte il compatimento che il lettore vorrà accordare a queste pagine.

Palermo 15 giugno 1870.

Digitized by Google

CONTENUTO DELLE LEZIONI.

PARTE I.

I FLUIDI ELASTICI E IL VAPOR D'ACQUA.

LEZIONE I.

Appendice alla Lezione I.

LEZIONE II.

LEZIONE III.

LEZIONE IV.

Digitized by Google

Appendice alla Lezione IV.

LEZIONE V.

Appendice alla Lezione V.

LEZIONE VI.

Appendice alla Lezione VI.

PARTE II.

STORIA DELLA MACCHINA A VAPORE.

LEZIONE VII.

LEZIONE VIII.

LEZIONE IX.

Appendice alla Lezione IX.

LEZIONE X.

LEZIONE XI.

Appendice alla Lezione XI.

PARTE III.

MECCANISMO DELLA MACCHINA A VAPORE.

LEZIONE XII.

LEZIONE XIII.

LEZIONE XIV.

LEZIONE XV.

LEZIONE XVI.

Digitized by Google

LEZIONE XVII.

Appendice alla Lezione XVII.

PARTE IV.

LE CALDAJE DELLE MACCHINE A VAPORE.

LEZIONE XVIII.

LEZIONE XIX.

LEZIONE XX.

LEZIONE XXI.

Appendice alla Lezione XXI.

Digitized by Google

PARTE V.

I CONDENSATORI.

LEZIONE XXII.

PARTE VI.

VARJ SISTEMI DI MACCHINE DA TERRA.

LEZIONE XXIII.

PARTE VII.

MISURAZIONE DELL'EFFETTO DELLE MACCHINE A VAPORE.

LEZIONE XXIV.

Digitized by Google

PARTE VIII.

I PROPULSORI E LE MACCHINE MARINE.

LEZIONE XXV.

Appendice alla Lezione XXV.

Digitized by Google

PARTE I.

I Fluidi Elastici e il Vapor d'Acqua.

LEZIONE I.

1. Introduzione. — 2. Nozioni preliminari da apprendere. — 3. Definizione della Forza Elastica. — 4. Origine della Forza Elastica. — 5. Legge di Mariotte. — 6. Manometri. — 7. Manometro a colonna di mercurio.

APPENDICE. — Nota sul Cangiamento di Stato.

1. *Introduzione.* — Ad avere un' idea generale del come operano le macchine a vapore, bastano le cognizioni fisiche che tutti abbiamo; e ci sarà utile aver familiare dapprima tale idea generale, che ci servirà di guida, indicandoci quali nozioni preliminari dovremo apprendere per prepararci allo studio più completo che andremo facendo. Sa ognuno che l'acqua esposta al fuoco in una pentola, bolle e se ne fugge in vapore, scacciando dinanzi a sè l'aria dell'atmosfera; e che se noi poniamo un coperchio, anche assai pesante, sulla bocca della pentola, il vapore scappando fuori lo solleverà : questo vapore dunque, che vien fuori dell'acqua quando bolle, ha una certa potenza che lo fa uscire a forza dalla pentola. Fermiamo

Digitized by Google

il coperchio a dirittura in guisa che il vapore non possa uscire, ed innestiamovi un tubo: è chiaro che il vapore seguirà la direzione del cannello e andrà a scappare alla bocca aperta di esso. Fatto questo, prepariamo un altro ordegno: ho qui un largo tubo di bronzo, ben liscio e cilindrico nel suo interno; in esso è aggiustato puntualmente uno stantuffo, che vi si può muovere senza stento da una estremità all'altra. Il cilindro (così in meccanica costruttiva chiamano questo pezzo cavo) è chiuso da coperchi in ambo le bocche, e l'asta ch'è legata allo stantuffo, passa per un collaro che le permette libero il moto e nel tempo stesso la cinge esattamente. Ad una certa altezza sopra del cilindro, abbiamo appoggiato un albero girevole, che vediamo di punta in *a* nella fig. 1, a quest'albero è imbiettata una manovella *ab*, la quale mediante un pezzo articolato *b c*, si unisce all'estremità dell' asta dello stantuffo *c d*. Dal sopra e dal sotto del cilindro partono due tubi, muniti de' robinetti *e*, *f*; li ho congiunti in *g* col tubo innestato nel coperchio *h* della pentola. Altri due robinetti *i*, *l*, mettono in comunicazione le due estremità del cilindro col tubo *m*; questo, secondo vogliamo, faremo sboccare a dirittura nell'ambiente, ovvero uniremo per mezzo del tubo *n* al recipiente *o*, da cui ho procurato di estrarre tutta l'aria, e ch'è immerso in una vaschetta di acqua fredda.

Vediamo adesso come opera il nostro congegno: apro il robinetto *f*, e chiudo *l*; il vapore della pentola penetrerà dunque nel sotto del cilindro e non potrà uscirne; chiudo nel tempo medesimo *e* ed apro *i*: il vapore che trovasi sotto dello stantuffo spinge questo a salire, non potendo altrimente allargare i proprj confini: l'asta per conseguenza manda su il pezzo articolato *c b*, il quale farà volgere l'albero spingendo la manovella a salire; ma quando questa si dispone in linea col connettore *b c*, non potrà più far girare l'albero, e sarebbe inutile a questo scopo la forza fatta dal vapore sullo stantuffo: se non

che all'albero è unita una pesante ruota, e per la foga che essa acquista nella salita dello stantuffo, fa continuare il moto dell'albero, e la manovella passa all'altro lato della verticale. Allora io chiudo i robinetti *f*, *i*, ed apro *e* ed *l*: il vapore della pentola preme lo stantuffo dal sopra, mentre quello che era nel sotto del cilindro scappa via per *l* e per *m* nell' ambiente. Lo stantuffo scende nuovamente e spinge l'albero a volgere nel verso medesimo di prima, cioè secondo la freccia; giunta la manovella alla verticale, cangio la posizione de' robinetti chiudo cioè *e* ed *l*, ed apro *f* ed *i*; nel mentre la foga della ruota avrà portata la manovella a destra e lo stantuffo la spingerà nuovamente su. Alternando così l'aprire e il chiudere de' robinetti, avremo nell'albero un moto continuato di rotazione. E si comprende che ciò possa ottenersi più agevolmente assai adoperando, invece delle mani, un qualche ingegno che faccia volgere i robinetti ne' giusti periodi alla macchina medesima.

Il vapore scappa nell'atmosfera pel tubo *m*, e perciò la macchina in questa forma dicesi *senza condensazione*. Se non uniamo *m* ad *n*, il vapore, invece di andarsene nell'ambiente, penetrerà in *o*, ed incontrando le pareti, fredde per l'acqua esterna, si condenserà, tornerà una altra volta in acqua; e la macchina così disposta si appella *a condensazione;* ed ha forza maggiore, poichè nel primo modo di operare, il vapore doveva vincere la resistenza opposta dall'atmosfera, in questo secondo, no, essendo che l'atmosfera è del tutto esclusa.

Nell' una maniera e nell'altra, il vapore opera sopra ambo le faccie dello stantuffo, lo spinge in ambo le direzioni, e la macchina si addimanda perciò *a doppio effetto*. Ma se noi manteniamo sempre chiuso il robinetto *e*, e sempre aperto *i*, potremo ottenere il moto della macchina operando il vapore solamente nel sotto del cilindro: la velocità comunicata alla ruota nella salita dello stantuffo, potrà esser sufficiente, non solo a far

volgere la manovella fino alla posizione superiore, ma sì a farla ridiscendere dall'altro lato fino a passare alquanto alla destra, sicchè la spinta del vapore possa far salire nuovamente lo stantuffo, e così continuare la rotazione dell'albero. E perchè in tal guisa il vapore opera da un lato solo dello stantuffo, la macchina vien detta *a semplice effetto*.

2. *Nozioni preliminari da apprendere.* — In queste varie forme della macchina a vapore (e sono tutte le possibili in quanto al principio movente) il fenomeno essenziale è la dilatazione del fluido. Tale dilatazione dipende dalla forza elastica; conviene dunque che in primo luogo ci rendiamo familiare questa proprietà; e siccome nella macchina a condensazione viene la forza dalla diversa tensione spiegata dal vapore sotto diversa temperatura, così convien pure aver completa conoscenza delle leggi che regolano la tensione e la temperatura di questo fluido. La quantità della forza svolta da una data mole di acqua, mandata in vapore pel fuoco, dipende direttamente dal maggior volume assunto dal fluido, in rapporto a quello dell'acqua; e quindi c'importa pure conoscere le leggi dell'aumento di volume. In fine, a formarsi un'idea del costo commerciale del lavoro fornitoci dal motore, è indispensabile sapere quanto combustibile occorra per ottenere un dato volume di vapore sotto le varie circostanze.

Però investigheremo dapprima questi argomenti, per passare indi al Meccanismo delle Macchine a Vapore.

3. *Definizione della Forza Elastica.* — Chiamasi elasticità, forza elastica, o tensione, quella virtù che hanno i gas e i vapori di premere le pareti de' recipienti che gli racchiudono. L'effetto generale prodotto dalla forza elastica si dice *pressione;* e l'effetto sopra di una data superficie si dice *spinta.*

4. *Origine della Forza Elastica.* — L'elasticità ha origine in una forza che tende ad allontanare l'una dall'altra

Digitized by Google

le particelle che costituiscono il fluido, e l'esperienza prova che questa forza opera in tutti i versi; tende in fatti ad aumentare, in qualunque modo le vien fatto, il volume del corpo. Fino a questi ultimi tempi si spiegava tale fenomeno immaginando le molecole dotate di una forza repulsiva, che le spingesse a discostarsi sempre più le une dalle altre, e che avrebbe maggiore o minore intensità secondo la distanza più breve o più grande interposta fra le molecole. Ma oggidì si ammette generalmente l'ipotesi che le particelle de' fluidi elastici *perfetti* sieno libere da qualsiasi azione vicendevole che operi a distanza, sia repulsiva che attrattiva, e che la pressione fatta sulle pareti derivi unicamente dal calore che posseggono; in forza del quale si urtano a vicenda e percuotono pure le pareti che le chiudono; e da queste percosse viene l'effetto che ci si manifesta come pressione. In ogni modo ci basta per ora conoscere che le molecole de' fluidi elastici tendono ad allontanarsi sempre più le une dalle altre; la quale loro proprietà costituisce la tensione, e il suo effetto sulle superficie, la pressione (1).

5. *Legge di Mariotte.* — Accurati esperimenti hanno mostrato che l'aria nell'esser compressa e nel dilatarsi segue quasi esattamente questa legge: la tensione di una data quantità di fluido varia inversamente col volume; e viceversa il volume di una quantità stabilita varia inversamente colla tensione. Ne consèguita che la densità dell'aria è sempre proporzionata alla pressione che sostiene. Questa legge, scoperta dal Mariotte, è stata provata con l'esperienza sino a 25 atmosfere, e si è trovata vera infra l'uno per cento; e quantunque questa piccola discrepanza sia di grande rilievo per chi volesse investigare la filosofia della cosa, per gli usi della pratica non occorre tenerne conto: e però noi considereremo esatta la legge di cui è parola.

(1) Vedi l'Appendice di questa lezione.

Digitized by Google

Studiando i fenomeni del vapore vedremo che la tensione e il volume de' fluidi elastici subiscono grandi cangiamenti in virtù del calore : importa dunque di stabilire che la legge di Mariotte si avvera con la condizione che non cangi la temperatura: l'aria, compressa si riscalda, e dilatata si raffredda: e quindi perchè segua la legge bisogna che nel primo caso perda, e nell'altro riceva calore.

E questa legge vale anche per ogni altro fluido elastico che sia perfetto: serve anzi di criterio della perfezione fisica dei gas.

6. *Manometri.* — Si sa come nel barometro si misura la pressione dell'atmosfera mediante una colonna di mercurio; ed è il mezzo più esatto che si possa adoperare nella stima delle tensioni, essendo che dà direttamente il valore della forza elastica. Diciamo *manometri* gli strumenti destinati ad indicare la tensione de' fluidi; in taluni la forza elastica viene bilanciata, come dicemmo, da una colonna mercuriale; in altri, dalla tensione di apposite molle metalliche; in altri ancora dalla elasticità di una massa di fluido racchiuso. In ognuno di essi la forza si argomenta dalla posizione in cui ha luogo l'equilibrio, allorquando opera la tensione che si vuole misurare.

7. *Manometro a Colonna di Mercurio.* — I manometri a colonna di mercurio servono per lo più a denotare lo eccesso di una data tensione sopra quella dell'atmosfera, e per conseguenza constano di un tubo verticale contenente mercurio, aperto all'estremità superiore, e che riceve all'altra il fluido di cui vuolsi stimare la tensione.

La fig. 2 rappresenta una forma di questo strumento: la bocca *a* del tubo è aperta all'atmosfera; e l'altra estremità *b* comunica col recipiente che contiene il fluido di cui vuolsi conoscere la tensione; la differenza di livello *c d* mostra di quanto la tensione in *b* eccede quella atmosferica, essendo che in *c* opera l'atmosfera, più il peso della colonna sorretta. Se poi vogliamo sapere il valore assoluto della tensione. dobbiamo giungere alla differenza

c d di livello, la colonna rispondente all' atmosfera medesima, cioè l'altezza barometrica. Le altezze si stimano mediante segni incisi sul vetro medesimo. Questo manometro, quantunque assai preciso, è poco adatto agli usi delle arti, a cagione della sua fragilità (bisogna che il tubo sia di vetro perchè si possa osservare il livello); e perchè diventa troppo alto per le forti tensioni; infatti per misurare 5 atmosfere avrebbe già $76^c \times 5 = 3^m,80$ di altezza.

Ne troviamo solamente qualche esempio nelle vecchie caldaie a bassa pressione, ed ha la forma che vediamo nella fig. 3, detta *manometro a sifone;* il tubo ricurvo *a b c* di ferro, del diametro di circa 15 millimetri, contiene alquanto mercurio nella parte inferiore; un pezzetto di ferro, *c'*, galleggia alla superficie del liquido, e mediante l'asticina ad indice *d*, ne mostra la posizione sulla tavoletta graduata *e f*. Quando il mercurio sta alla medesima altezza in ambo i rami, l' indice segna zero sulla graduazione, e significa che la tensione in *a* è eguale a quella atmosferica; ma se aumenta la pressione del fluido in *a*, avverrà sùbito un cangiamento di livello: il mercurio si abbasserà in *a* e si solleverà in *c*; la differenza d'altezza denoterà l'eccesso di tensione; ma il moto del galleggiante, e dell' indice, non sarà eguale al moto del liquido, sibbene a metà di esso, perchè il mercurio scende in *a* quanto sale in *c*; per conseguenza ogni 1|2 centimetro sulla tavoletta graduata risponde infatti a 1 centimetro di colonna mercuriale. Ordinariamente la pressione subìta da simili manometri non sorpassa 1|5 di atmosfera, e per conseguenza la scala in *f e* vuole avere lunghezza appena maggiore di un decimetro.

In taluni casi in cui le tensioni da valutarsi sono assai piccole, si adopera acqua invece di mercurio in questi manometri, come quella che essendo circa 14 volte più leggiera, mostra una differenza di livello 14 volte maggiore.

APPENDICE ALLA LEZIONE I.

Nota sul Cangiamento di Stato.

La proprietà essenziale dei fluidi elastici non appartiene esclusivamente a certe sorta di materia, ma invece deriva solo dalle condizioni termiche; e quindi non possiamo dire essere i fluidi elastici una data classe di sostanza, ma bensì uno stato particolare che potrebbe assumersi da un corpo qualunque nelle corrispondenti circostanze. E per questo i fisici distinguono tre stati dei corpi: il solido, il liquido, e l'aeriforme o di fluido elastico.

Siccome i più dei corpi che ci stanno intorno, conservano uno stato speciale, è facile cadere nell' errore di attribuire in modo assoluto il tale stato alla tale specie di materia: infatti chiamiamo solido il ferro; liquido l'alcool; aeriforme l' aria atmosferica. Tuttavia è chiaro che il ferro veste lo stato solido, solo perchè le sue particelle, per difetto di moto, rimangono legate dalla vicendevole attrazione; e se noi lo scaldiamo tanto da svincolarle, in altre parole se imprimiamo movimento alle molecole, l' attrazione indebolita non sarà più atta a mantenere la loro posizione relativa, e cadranno pel proprio peso, volgendosi l'una intorno all'altra, e resistendo pochissimo alle forze che tentassero la loro separazione.

Ogni qual volta avviene la liquefazione di un solido, cioè la parziale liberazione delle particelle, si spegne una certa quantità di moto molecolare; sicchè quel calore che si presta al corpo, non si manifesta tutto in esso, allorquando cangia lo stato, ma invece sparisce in parte; e se la liquefazione sia procurata forzatamente senza comunicazione di calore (e si può fare mercè l'affinità chimica), allora lo spegnersi del moto viene indicato direttamente, dal raffreddarsi del corpo liquefatto medesimo. E si suppone che la forza che dapprima

Digitized by Google

animava le molecole, si consumi nel far loro pigliare nuove positure, superando l'attrazione.

Se al ferro liquido prestiamo ancora calore, sarà ancor più indebolito il legame attrattivo, e le molecole si staccheranno a dirittura, diverranno quasi affatto libere, e quindi offriranno i fenomeni e la proprietà essenziale dei fluidi elastici.

Nè possiam dire esser l'alcool per sè un liquido: ma solamente che le sue particelle hanno quel tanto di moto, che basta a tenerle parzialmente svincolate e che non è sufficiente alla loro totale liberazione.

Così pure per l'aria: è vero che non l'abbiamo veduta mai liquida, molto meno solida; ma è pur vero che essa deve la sua forza espansiva unicamente al moto delle sue molecole, al calore. Raffreddandola molto, le particelle si avvicinerebbero, tanto da sentire l'attrazione; e resa questa abbastanza forte da impedire lo staccarsi delle particelle l'una dall'altra, si avrebbe lo stato liquido; e poi il solido quando, per ulteriore mancanza di moto, le molecole restassero del tutto vincolate. Non otteniamo ciò in fatti, solo perchè non sappiamo produrre le condizioni termiche occorrenti.

Digitized by Google

LEZIONE II.

8. Manometro a Disco Increspato. — 9. Manometro di Bourdon. — 10. Manometro ad Aria Compressa. — 11. Varie maniere di valutare le pressioni. — 12. Formazione del Vapore. — 13. Evaporazione.

8. *Manometro a Disco Increspato.* — I manometri a molla, o metallici, prendono varie forme, ma i più usitati sono quello a *disco increspato* e quello di Bourdon. La fig. 4 rappresenta il primo di questi: — Il coperchio della scatola cilindrica *a b*, consta di un disco di acciaro *c*, increspato circolarmente a fine di renderlo cedevole ed elastico; è tenuto in posto da varie viti intorno al lembo; la faccia superiore è esposta alla pressione atmosferica, e la inferiore, che è talvolta difesa da una sottile laminetta di rame, subisce la spinta del fluido. Quando debba operare su questo strumento un fluido caldo, come il vapor d'acqua, che potrebbe guastar la tempera del disco a molla, è buono interporre una colonna di acqua per non lasciar giungere il calore all'acciaro; allora il tubo ricurvo *c' d e* viene interamente riempito di acqua che trasmette al disco increspato la pressione fatta in *e*. Mentre il disco subisce eguale spinta da ambo i lati, rimane nella posizione iniziale d'equilibrio, ma quando è premuto più gagliardamente da sotto, è forza che pieghi, che si renda più convesso, spianandosi alquanto le increspature nel tempo medesimo, e acquistando così forza di bilicare la pressione. Se questa diminuisce, il disco, per la propria tensione e per quella atmosferica, ritorna alquanto e piglia una nuova posizione d'equilibrio. Così

ad ogni diverso grado di forza fatta, risponde una data configurazione del disco. Sarebbe impossibile notare direttamente tali configurazioni per dedurne la spinta che le cagiona, ed è quindi necessario adoperare un artifizio che aumenti il moto, e lo renda sensibile: al centro del disco è mastiettata una spranghetta, che alla sua volta si articola ad un settore dentato, mobile intorno a un pernio, fissato nel fondo dalla scatola che racchiude il meccanismo; i denti del settore imboccano con quelli di un rocchetto sul cui albero è fermata la lancetta indicatrice. L'alberetto sporge fuori della scatola, e l'indice si muove sopra una mostra formata sull'esterno di essa, e graduata come or ora dichiareremo. Il moto del diaframma viene trasmesso, tal quale avviene, al settore, e da questo al rocchetto: ma l'arco percorso dall'indice sarà evidentemente tante volte maggiore di quello percorso dal settore, quante volte il raggio del rocchetto è più piccolo di quello del settore medesimo. Così un piccolo moto del disco sarà reso sensibile sulla mostra. Quando àvvi la medesima pressione sulle due faccie della molla, la lancetta sta nella posizione iniziale, che è segnata 1 atmosfera. Per graduare lo strumento, lo si deve paragonare con un simile manometro già graduato, oppure con un manometro a colonna di mercurio; facendo eguale a due atmosfere la tensione in *e*, si nota la posizione della lancetta, e vi si segna 2, e così via discorrendo. Graduato in tal guisa il manometro, sapremo che alla tale positura della lancetta risponde la tal pressione; e quindi ci basterà osservare la lancetta medesima a conoscere la tensione del fluido operante in *e*.

9. *Manometro di Bourdon.* — I denti del settore e del rocchetto, nel manometro a disco, non possono costruirsi con assoluta precisione, e quindi il legame tra la molla e l'indice non è tanto perfetto quanto potrebbe desiderarsi; può avvenire un piccolo moto del diaframma senza che la lancetta lo mostri; e appunto per la imperfezione

della dentatura. Nel *manometro metallico* di Bourdon questo inconveniente è tolto, poichè l'indice è unito direttamente alla molla; la quale, per essere più cedevole, si muove di più, sicchè non fa mestieri porre fra essa e l'indice il meccanismo moltiplicatore.

Questo manometro è basato sul seguente fatto, scoperto accidentalmente da Bourdon: quando nell'interno di un tubo ricurvo èvvi un fluido sottoposto a pressione maggiore di quella che opera sulla superficie esterna, esso tende a svolgersi, o a raddrizzarsi; quando invece la pressione nell'interno si rende minore, il tubo tende ad avvolgersi ancora più, per l'eccesso della pressione esterna. Se il tubo fosse affatto cedevole ed inelastico, basterebbe una piccola differenza di tensione fra il dentro e il fuori a raddrizzarlo del tutto nell'un caso, e ad avvolgerlo al massimo grado nell'altro; e sì nell'una che nell'altra circostanza, l'effetto sarebbe permanente: il tubo non tornerebbe più alla sua forma iniziale, se non quando vi fosse spinto da una pressione contraria alla prima. È facile vedere che un tale tubo inerte non potrebbe costituire un manometro; se fosse fatto invece di metallo elastico, si muoverebbe ancora per la differenza di pressione, ma limitatamente, e di quantità proporzionata alla spinta, essendo che il tubo nel cangiar di forma acquista tensione capace di bilanciare l'effetto del fluido.

Tale è il principio del manometro di Bourdon, e possiamo spiegarcelo sùbito considerando che la parete che forma il di fuori della curva, come *a b c*, fig. 5, in un tubo piegato, deve avere superficie maggiore di quella che ne costituisce l'interno *d e f*, essendo questa più corta dell'altra; e quindi una data pressione operante sopra tutto l'interno del tubo spingerà più la parete esterna che la interna; è manifesto che la spinta interna sopra *a b c* tende a svolgere, ad aprire il tubo, e che quella sopra *d e f* tende a chiuderlo; se dunque la prima è più grande della seconda, resterà esquilibrata una parte della forza,

in virtù della quale si svolgerà il tubo; e fino a quando la tensione elastica, venuta dal cangiamento di forma, non la bilanci.

Se poi diminuisce la pressione interna, il tubo ritorna alla forma primitiva per la propria elasticità. E se facciamo la pressione dentro il tubo minore della atmosferica, questa lo avvolgerà, premendo la parete *a b c* più che la *d e f*. Ad ogni data differenza, dunque, fra la tensione dentro e fuori di questa molla cava, risponde una certa forma della medesima; il meccanismo semplicissimo del manometro, serve solo ad indicare, in modo facilmente osservabile, queste varie figure assunte dal tubo elastico.

Sulla parete *a b* della scatola circolare di ottone *c d*, fig. 6, è appoggiato un albero *e f*, in guisa da potersi volgere senza stento; dal lato *f* vi è fissata la lancetta *g*, la quale, come vedesi nell'alzato a destra, percorre un arco graduato: all'altra estremità dell'albero è unito il braccio *h*, mediante la vite premente *i*. Al braccio si articola la spranghetta *h m*, che l'unisce all'estremità del tubo, curvo a guisa di falce, *n o p*. L'estremità *n* di questo è chiusa, e l'altra è saldata in *q* ad un pezzo cavo di ottone, che ne mette l'interno in comunicazione col meato del robinetto *r s*. La scatola serve ad impedire che il tubo non venga guastato per urti accidentali, e pel fine medesimo la lancetta, con la sua mostra, è difesa dalla lastra di vetro *t u*. Quando il manometro deve operare con vapore, è d'uopo aggiungergli il tubo ad acqua, come si disse pel manometro a disco increspato. Come vedesi nella figura sezionata, al tubo si dà una forma di spaccato ellittica, affine di ottenere flessibilità maggiore. La graduazione dovrebbe, in vero, eseguirsi mediante uno strumento di paragone: ma siccome non occorre, per gli usi generali delle arti, una grande esattezza, si è trovato possibile, fabbricando questi manometri in grandissimo numero, produrre tubi a molla

tanto eguali nella loro elasticità, da poter servire per tutti una medesima graduazione, stampata una volta per sempre, e che viene trasferita poi sulle mostre smaltate. Questo manometro, per la sua estrema semplicità, va pochissimo soggetto a guastarsi, e quindi è adoperato il più di tutti.

10. *Manometro ad Aria Compressa.* — Conosciuta la legge secondo la quale varia il volume dei gas, per effetto della pressione, (§ 5); e conoscendo che la tensione è sempre equivalente alla forza sostenuta dal fluido compresso, si può argomentare il valore della tensione dal cangiamento di mole subìto da una quantità conosciuta di aria, o di altro fluido elastico. Sia *a b c d*, fig. 7, un tubo di vetro, contenente una certa quantità di aria nel ramo chiuso *d*, imprigionata dal mercurio che riempie parzialmente il tubo e la capacità sferica *b'*; nello stato iniziale delle cose, il mercurio sta al medesimo livello in ambo i rami, e l'aria in *d* ha per conseguenza allora la tensione dell'atmosfera esterna. Ma se rendiamo maggiore la pressione che opera in *b'*, non sarà più possibile l'equilibrio, non potendo l'aria in *d* bilanciare la spinta accresciuta; avviene dunque un innalzarsi del mercurio in *d*, la qual cosa non solamente fa operare il peso, ma comprime pure l'aria racchiusa, e questa perciò acquista forza di resistere alla tensione in *b'* e di equilibrarla. Secondo la legge di Mariotte, quando il volume dell'aria si riduce a metà, la sua tensione diviene doppia; essendo che prima la tensione era un'atmosfera, diverrà due atmosfere quando il volume sarà portato a metà; se dunque vediamo restringersi l'aria contenuta in *d*, a metà del volume primo, sapremo essere in *b'* la pressione di due atmosfere, più quella equivalente alla colonna di mercurio, sollevata nell'atto medesimo di effettuare la compressione. Il tubo ha dappertutto lo stesso diametro, e quindi la lunghezza occupata dall'aria dinota il volume di essa. Supponiamo essere *e* eguale a 160 millimetri; e che, ope-

rando una certa pressione in b', il mercurio abbia salito di $f = 76$ millimetri; il volume dell'aria sarà diminuito nel rapporto di 160 : (160—76), ossia di 160 : 84; e quindi la tensione dell'aria in $d\ c$ sarà tante volte maggiore di quella atmosferica, quante volte 160 è maggiore di 84, e 84 : 160 : : 1 : 1,9 circa. Ma nel tempo medesimo abbiamo pure operante la colonna di mercurio f, alta, come dicemmo, 76 millimetri, che equivalgono ad 1/10 di atmosfera; se dunque aggiungiamo questo 1/10 di atmosfera alla tensione dell'aria, avremo l'intiera spinta che bilancia la tensione in b': $1{,}9 + 0.1 = 2$; la tensione del fluido operante in b' è dunque 2 atmosfere; delle quali 1,9 è tenuta in equilibrio dalla forza elastica dell'aria racchiusa, e il rimanente 0,1 dal peso della colonna mercuriale sollevata. Si vede da ciò che è facile graduare questo manometro per via di ragionamento; infatti le due forze che equilibrano e misurano la tensione, seguono, come abbiamo osservato, leggi semplicissime. Lo scopo del recipiente b' è solo di rendere meno sensibili le variazioni di livello per le varie altezze della colonna in $d\ b$. Talvolta si dispone orizzontalmente il tubo, e allora, eliminato lo effetto del peso, riesce più facile la graduazione, dovendo tener conto solamente della compressione dell'aria.

Quantunque buonissimo in teorica, questo manometro ha diversi vizj che lo fanno poco adoperare nell'industria. L'esattezza delle indicazioni dipende, una volta graduato lo strumento, dal volume dell'aria che vi sta chiusa; questo intanto può variare per più cagioni: 1° pel grado diverso di calore; 2° perchè l'ossigeno che fa parte dell'aria si combina chimicamente col mercurio, e quindi diminuisce in volume; 3° perchè il mercurio non tocca il tubo di cristallo, non lo bagna, e per conseguenza può avvenire l'uscita di una porzione dell'aria, o anche potrebbe penetrare nuovo fluido da b. Un secondo difetto di questo manometro si è, che le divisioni rappresentanti eguali incrementi di tensione, vanno scemando secondo

che aumenta la tensione medesima, e ciò rende meno esatto lo strumento appunto dove dovrebbe essere maggiore la sua esattezza, pel maggior pericolo delle forti pressioni. Sembra anzi che questo sia il vero vizio irremediabile: l'effetto del calore potrebbe computarsi, quantunque riuscirebbe incomodo il farlo; invece di aria si potrebbe adoperare un gas incapace di combinarsi col mercurio; finalmente, invece di mercurio si potrebbe far uso di un liquido che bagnasse il vetro, ed allora non vi sarebbe possibilità di scappar via il gas, nè di penetrare vapore dentro del tubo: ma all'impicciolirsi delle divisioni sembra non vi sia rimedio.

11. *Varie maniere di Valutare le Pressioni.* — I manometri vengono graduati per lo più in atmosfere, oppure in centimetri di mercurio. Ma sono pure in uso talune altre maniere di stimare le tensioni, di cui occorre far qualche cenno. La spinta fatta dall'atmosfera sopra un centimetro quadrato di superficie, è di un chilogramma circa: talvolta le pressioni si valutano pigliando a base questo fatto; così la tensione di tre atmosfere, ossia di 228 centimetri di mercurio, potrebbe dirsi di tre chilogrammi sul centimetro quadrato; e così di sèguito. In Inghilterra usano un simil modo di esprimere il valore delle pressioni, se non che contano a libbre sul pollice quadrato: giova osservare intanto che questa maniera di computare la pressione vien riferita sempre all'eccesso sopra l'atmosfera; così libbre 14,7 sul pollice quadrato, che rispondono ad un chilogramma sul centimetro quadrato, vogliono denotare due atmosfere, cioè un'atmosfera di là dell'atmosfera medesima; libbre 29,4 voglion dire tre atmosfere, e così per le altre cifre.

12. *Formazione del Vapore.*—L'acqua si può ridurre allo stato di vapore, o alla temperatura d'ebollizione, od a temperature più basse: nel primo caso il fenomeno si dice *ebollizione;* nel secondo *evaporazione* (1); in ge-

(1) Havvi una terza maniera di cangiare i liquidi in vapore, ed è quella

nerale *vaporizzazione*. Studieremo dapprima la evaporazione.

13. *Evaporazione*.—Si supponga un gruppo di diversi barometri; il mercurio starà alla medesima altezza in tutti quanti, non essendovi cagione di differenza. Si faccia penetrare in uno di essi una piccola quantità di acqua che salirà per la propria leggerezza fino nella camera barometrica; si vedrà allora che la colonna di mercurio si farà più corta: la pressione esterna è costante, il che è mostrato dagli altri tubi; bisogna dunque conchiudere che nello spazio sopra del mercurio vi sia una pressione che spinga giù la colonna. Questa pressione non proviene dall'acqua certamente, essendo che essa pesa assai poco, e la quantità adoperata è troppo piccola da operare tanto pe 'l peso. La pressione deriva infatti dal vapore che si svolge dall'acqua.

S'introduca in un altro dei tubi qualche goccia di spirito di vino: si vedrà che avviene un abbassamento della colonna barometrica ancor maggiore. Infine si faccia penetrare un poco di etere in un terzo tubo, e si otterrà un abbassamento maggiore e del primo e del secondo. Vediamo da questi fatti che i liquidi posti nel vuoto sviluppano vapori aventi certe pressioni; vediamo pure che le pressioni sono differenti a parità di temperatura, coi differenti liquidi.

Se ripetessimo l'esperimento con tutti i liquidi conosciuti, seguirebbe sempre un abbassamento più o meno

in cui il liquido vaporizzantesi vien sostenuto fuori contatto con le superficie riscaldanti, da uno strato di vapore. Avviene quando queste superficie sono portate a temperature altissime. Così se si lascia cadere una goccia di acqua sopra un pezzo di ferro rovente, essa rimane sospesa, senza toccare il metallo caldo, a cagione del vapore che la circonda; e il fenomeno dura a lungo per essere lentissima la comunicazione del calore; intanto l'acqua si va evaporando lentamente. Per la forma che pigliano i liquidi in questa maniera di evaporarsi, si dicono in *istato sferoidale*. Quantunque questo fenomeno sia in sè medesimo importante, a noi non occorre investigarlo.

Digitized by Google

grande: ma con alcuni liquidi sarebbe così tenue da sfuggire alla nostra osservazione.

Se avessimo mezzi da misurare la temperatura dei liquidi prima e dopo la loro introduzione nel vuoto, troveremmo che essa subisce un abbassamento allorquando avviene lo sviluppo di vapore. L'esperimento descritto mostra pure che ad una data temperatura àvvi un massimo di pressione pel vapore di un dato liquido, poichè vediamo rimanere costanti le altezze. Esso mostra inoltre che riempito lo spazio di vapore della pressione rispondente alla temperatura, cessa ogni ulteriore vaporizzazione.

Per dimostrare l'abbassamento di temperatura proveniente dalla formazione del vapore, Wollaston immaginò questo strumento, fig. 8: le due sfere di vetro *a*, *b*, comunicano tra di loro mediante il tubo *c*; nella costruzione dello strumento fu introdotta in *b* una certa quantità di acqua, e fu scacciata interamente l'aria. Nelle circostanze ordinarie lo spazio sarà pieno di vapore di tensione corrispondente alla temperatura atmosferica, e con tale condizione cessa, come dicemmo, ogni vaporizzazione. Ma se circondiamo la sfera *a* di un miscuglio frigorifero, per esempio di ghiaccio e sale, il vapore in essa contenuto diminuirà di tensione, e perdendo il suo calore, passerà prima allo stato liquido, poi allo stato solido; intanto per essersi minorata la pressione, l'acqua in *b* darà vapore: non essendo più proporzionata la tensione alla temperatura, e poichè tale vapore viene costantemente distrutto, procederà sempre la vaporizzazione, e giunge un istante, nel quale essa avrà tolto tanto calore all'acqua in *b* da farla passare allo stato solido.

Dall' esperimento de' barometri, e da quest' altro di Wollaston, possiam concludere: che l'acqua anche alla temperatura ordinaria dell' atmosfera manda vapore, il quale ha una tensione ben sensibile; che altri liquidi svolgono pur essi vapore, di tensione più o men forte

secondo la propria natura, anche alla temperatura atmosferica; che la evaporazione ha un limite in ogni dato caso, ed è quando lo spazio si riempie completamente di vapore; finalmente vediamo che l'evaporazione esige una certa quantità di calore, e che quando tale calore non si fornisce all'acqua da qualche sorgente esterna, avviene il raffreddamento dell'acqua medesima per la perdita che subisce.

Digitized by Google

LEZIONE III.

14. Vapore vero e Vapore soprariscaldato.—15. Corrispondenza fra la Temperatura e la Tensione.— 16. È probabile che tutti i corpi mandino vapore. — 17. Tensione ne' Vasi Comunicanti. — 18. Teorica dell'Evaporazione.

14. *Vapore vero e Vapore soprariscaldato.*—Perchè il vapore segua le leggi che gli son proprie, è necessario che egli sia in contatto con una certa quantità, anche piccola, del liquido che lo produsse. Nel caso diverso per ogni più lieve aumento di calore esso si soprariscalda, ed allora segue le leggi dei gas; si può dire infatti essere allora un gas. Si dimostra tale cangiamento per mezzo di un barometro munito di vaschetta assai profonda: introducendo nello spazio vuoto sopra del mercurio alcune gocce di liquido, si ottiene un certo abbassamento della colonna; innalzando il tubo barometrico, si osserva che l'altezza della colonna rimane costante: abbassando il tubo la colonna rimane ancora costante: da ciò si deduce essere costante la tensione, ed essere impossibile accrescerla o diminuirla per la compressione o per la dilatazione. Si vede dunque che la tensione del vapore nello stato naturale è strettamente collegata alla temperatura, poichè essendo costante la temperatura è costante pure la tensione. Col vapore soprariscaldato ciò non avviene: infatti se introduciamo nello spazio vuoto così poca quantità di liquido che esso si evapori interamente, e lasci perciò asciutto il mercurio e il tubo, troveremo che innalzando il barometro, l'altezza della colonna aumenta, il che significa diminuzione della forza elastica interna: se invece de-

Digitized by Google

primiamo il tubo, l'altezza della colonna scema, dunque la pressione interna sarà cresciuta. Vediamo da ciò che mentre col vapore allo stato naturale è impossibile cangiare la tensione a parità di temperatura, col vapore soprariscaldato la tensione cangia secondo che cangia il volume; ed anche a temperatura ferma, precisamente come fa coi gas.

15. *Corrispondenza fra la Temperatura e la Tensione.* — Abbiamo detto essere la tensione de' vapori collegata alla loro temperatura. Dalton fu primo a studiare tale fatto mediante questo congegno: — In una vaschetta di ferro, *a b*, fig. 9, piena di mercurio, pescano due tubi barometrici *c*, *d;* uno di essi contiene acqua e vapore nella parte di sopra; tutti e due i tubi sono circondati da un altro più grande *e f*, aperto d'ambo le parti, e il cui lembo inferiore s'immerge nel mercurio della vaschetta; questo tubo esterno è pieno di acqua che vien sorretta dal mercurio: un termometro *g* indica la temperatura dell'acqua e per conseguenza del vapore dentro il barometro. La pressione del vapore è rappresentata dalla differenza di altezza delle colonne di mercurio: nel barometro senza vapore la pressione atmosferica è bilanciata dal solo mercurio: e nell'altro la stessa pressione atmosferica è equilibrata dal mercurio più il vapore; perciò la tensione di esso vapore è eguale alla differenza tra le due colonne.

Applicando calore al fondo della vaschetta si scalda il mercurio, e questo scalda l'acqua e di conseguenza il vapore; notando le temperature mostrate dal termometro, e le pressioni corrispondenti, Dalton costruì le tavole della pressione del vapore da 0° sino a 100°. Giunta la temperatura ai 100°, il riscaldamento non poteva portarsi oltre; e si osservava dippiù che allora l'altezza del barometro contenente vapor d'acqua diventava nulla. Ciò significa che a 100° la pressione del vapore d'acqua è eguale a quella dell'atmosfera, essendo che da sè solo le fa equilibrio. Studiando l'ebollizione intenderemo il perchè di questa coincidenza.

Per istabilire le pressioni dovute a temperature più alte di 100°, Ure adoperò quest'altro congegno : — Figura 10: il tubo di vetro *a b*, è chiuso alla estremità *b*, aperto all'altra; esso contiene mercurio sino ad un certo livello in ambo i rami; nella parte chiusa, lo spazio non occupato dal mercurio è pieno di acqua; un largo tubo *e*, pieno di olio, circonda il ramo corto. Nello stato iniziale l'acqua in *b* sostiene la pressione dell'atmosfera, essendo aperta l'estremità *a*: elevando a 100° la temperatura dell'olio, il vapore dell'acqua avrà tensione eguale a quella atmosferica, e scaldandolo ancora più oltre, la tensione crescerà, e si renderà capace di sostenere l'atmosfera più una certa colonna di mercurio, denotata dalla differenza di livello nei due rami. Osservando questa, e nel medesimo tempo il termometro, si constata qual temperatura risponde ad una certa tensione.

Con questo metodo non si potevano osservare le temperature per le pressioni assai forti essendo che per ogni atmosfera si dovevano giungere altri 76 centimetri d'altezza al tubo *a*, e quindi si avevano sùbito lunghezze inconvenienti. Arago e Dulong osservarono le temperature del vapor d'acqua sino a 28 atmosfere, facendo uso di una caldaja di ferro assai spesso, e di un manometro ad aria compressa per misurare la tensione.

16. *È probabile che tutti i corpi mandino Vapore.*— Dicemmo che tutti i liquidi posti nel vuoto emanano vapore; vi sono varj solidi che hanno la medesima proprietà: Gay Lussac mettendo in comunicazione lo spazio vuoto del barometro con un recipiente contenente ghiaccio, osservò che il ghiaccio a zero emana vapore avente la tensione di oltre 4 millimetri di mercurio. La canfora, il muschio, ed in generale tutte le sostanze odorifere, forniscono vapori alle temperature ordinarie dell'atmosfera. Il rame, il piombo, e qualche altro metallo, hanno un odore particolare, la qual cosa mostra che anch'essi emanano vapori, quantunque di tensione affatto

Digitized by Google

insensibile. E sembra probabile che queste esalazioni dei corpi solidi constino di particelle isolate moventisi in linee rette, e lontanissime le une dalle altre, e quindi che non possano produrre pressione sensibile, per difetto di azione vicendevole.

17. *Tensione ne' Vasi Comunicanti.* — Siccome la tensione dei vapori diminuisce coll'abbassarsi della temperatura, se si pongano in comunicazione due vasi contenenti vapore di varia forza elastica, la tensione in ambedue si ridurrà a quella che risponde alla temperatura più bassa; poichè il vapore più caldo, per la sua forza maggiore, penetra nel recipiente più freddo e lì perde l'eccesso di tensione; e l'efflusso continua fino a che la forza si uguaglia in tutti e due i recipienti: infatti, essendo mantenuta costante la temperatura inferiore, non può cessare l'efflusso se non quando la tensione generale sia caduta a quella rispondente ad essa temperatura inferiore.

18. *Teorica dell'Evaporazione.*— Abbiamo veduto che ogni qualvolta avviene l'evaporazione di un liquido, questo fenomeno è accompagnato da abbassamento di temperatura, se non venga comunicato calore dal di fuori. E vedremo in sèguito che pur quando si presta calore al liquido vaporizzantesi, avviene un'apparente sparizione del calore medesimo. Sino ad un' epoca recente non si era spiegato il fenomeno; e si diceva solo, che nel cangiare di stato, i corpi mutavano una certa quantità di calore dallo stato ***sensibile*** al *latente*, e che in questo stato particolare il calore non operava sul termometro. Oggi, per le conoscenze più estese che possediamo intorno al significato vero del cangiamento di stato, possiamo darci perfetta ragione della cosa. Infatti si sa che le particelle formanti i fluidi elastici sono libere l'una dall'altra, nè si attraggono nè si repellono (§ 4); e inoltre che sono dotate di una quantità di moto, il quale, spingendole a percuotere sè medesime e le pareti, costituisce la pres-

sione elastica. Invece le particelle di acqua si attraggono, tanto da conservare nella massa un volume definito; e non posseggono il moto rettilineo illimitato, non percuotono le pareti, e le premono solamente pel proprio peso. Nel passaggio dallo stato liquido all'aeriforme, bisogna dunque svincolare le particelle, oltre al dar loro il moto, e quindi una porzione di calore, dovendo superare l'attrazione, non può esistere qual moto, o a meglio dire, non può essere più calore, ma piglia la forma di forza potenziale. È come quando lanciamo in alto un grave : continua a salire fino a che tutto il suo moto vien trasformato in forza potenziale; poi si ferma, e nell'istante appresso comincia a cadere. Questo fatto mostra come il moto si può spegnere, mutandosi in altra forza; e nell'evaporazione avviene appunto così; è naturale quindi che una parte del calore, del moto, dato alle particelle del liquido, sparisca nel vapore, poichè vi esiste in forma di forza potenziale. Ed è pur chiaro che allorquando si opera il cangiamento di stato senza comunicazione di calore, debba abbassarsi la temperatura; essendo che una porzione del calore avuto si trasforma. Vedremo più avanti che nella condensazione del vapore si ha il fenomeno inverso, cioè che la forza potenziale si converte di nuovo in calore, per l'avvicinarsi delle particelle: come nel caso del grave lanciato in alto, che nel ricadere acquista nuovamente il moto col quale salì.

Digitized by Google

LEZIONE IV.

19. Ebollizione; Legge di Dalton. — 20. Bollitore di Franklin. — 21. Ebollizione provocata da raffreddamento.—22. Esperimenti di Regnault. —23. Teorica dell'Ebollizione.—24. Effetto dei Sali Disciolti.—25. Temperatura del Vapore svolto dalle Soluzioni saline bollenti.

Appendice: — Tavola intorno al Vapore. — Memoria « Sulla Temperatura dei Vapori svolti dalle Soluzioni saline bollenti. »

19. ***Ebollizione; Legge di Dalton.*** — Dicemmo che Dalton trovò essere eguale a quella atmosferica la tensione del vapor d'acqua a 100°. Egli osservò inoltre, che adoperando spirito di vino invece di acqua, la tensione eguagliava quella atmosferica anche prima dei 100°, e che il vapor d'etere acquistava quella tensione ad una temperatura ancor più bassa. Osservando accuratamente le temperature alle quali aveva luogo l'eguaglianza con la pressione dell'atmosfera, Dalton constatò rispondere quelle alle rispettive temperature d'ebollizione. Stabilì quindi questa legge: — I liquidi bollono allorquando la tensione del loro vapore è eguale, o appena superiore, alla pressione sovrastante.

Così l'acqua bolle a 100°, essendo che a quella temperatura la tensione del suo vapore è eguale alla pressione dell'atmosfera. Il vapore d'etere acquista la tensione atmosferica a 37°, e l'etere bolle a 37°. Parimenti lo spirito bolle a 79°, poichè a tale temperatura la tensione del suo vapore uguaglia quella atmosferica.

È evidente che diminuendo la pressione atmosferica

4

Digitized by Google

si abbasserà la temperatura d'ebollizione: si osserva infatti che sulle montagne l'acqua bolle prima di giungere ai 100°. Sul Monte Bianco essa bolle ad 84°. Secondo la legge di Dalton l'acqua posta in uno spazio assolutamente vuoto bollirebbe anche allo zero; e difatto con una buona macchina pneumatica si può far bollire l'acqua a temperature vicinissime allo zero. Nell'appendice di questa lezione èvvi una tavola delle temperature d'ebollizione di varj corpi sotto la pressione di un'atmosfera.

20. *Bollitore di Franklin.* — Per mostrare l'ebollizione a basse temperature, si adopera un piccolo congegno, detto *bollitore* di Franklin; esso consiste in due recipienti di forma qualunque *a*, *b*, fig. 11, posti in comunicazione mediante il tubo *c*; nel costruire lo strumento venne affatto scacciata l'aria, ed introdotta alquanta acqua, dimodochè lo spazio è occupato da una certa quantità di questo liquido e dal suo vapore. Nello stato iniziale la tensione del vapore contenuto in *a* e in *b* sarà quella rispondente alla temperatura atmosferica; afferrando la sfera *a* con la mano, l'acqua si avvicinerà alla temperatura di questa, alquanto superiore a quella dell'atmosfera; allora essendo la tensione del vapore dovuta a questa temperatura, maggiore di quella contenuta nel congegno, avverrà l'ebollizione dell'acqua in *a*. S'intende di leggieri che tale fenomeno non può avere una lunga durata, poichè il vapore svolto riempisce tosto lo spazio, e vi forma la tensione dovuta alla temperatura della mano.

21. *Ebollizione provocata dal raffreddamento.* — Il medesimo fenomeno può procurarsi facilmente così: — Pongo sul fuoco una boccia contenente alquanta acqua; adesso che l'acqua bolle, tolgo dal fuoco la boccia; ne turo la bocca, e la capovolgo: osservate che l'acqua, essendo allontanata dal fuoco, ha cessato di bollire: il vapore di cui è pieno lo spazio non occupato dall'acqua, ha la tensione rispondente alla temperatura; ma s'io applichi

un corpo freddo alla parte superiore della boccia, (questo pannolino bagnato, per esempio), la tensione del vapore scemerà, e restando relativamente superiore la temperatura dell'acqua, essa entrerà in ebollizione. Anche in questo caso il fenomeno ha, come vedete, breve durata, per la cagione detta sopra intorno al bollitore di Franklin.

22. *Esperimenti di Regnault.* — Regnault fece una serie di accurati esperimenti per istabilire le temperature del vapor d'acqua sotto diverse pressioni; quelli fatti prima, da Dalton e da Dulong ed Arago, lasciavano in vero da desiderare in quanto a stretta precisione, e non erano concordi le cifre ottenute. La fig. 12 rappresenta la disposizione generale del congegno di Regnault: — Nella boccia di rame *a*, piena a metà di acqua, penetrano varj termometri, alcuni dei quali s'immergono nell'acqua, altri nel vapore, e tutti sono ben difesi dalla pressione; un tubo *b* conduce dalla boccia ad un recipiente immerso in un bagno d'acqua fredda; il tubo *b* è circondato da un altro più largo, e nello spazio intermedio circola una corrente d'acqua fredda. Un manometro a colonna di mercurio, *c d*, comunica col pallone, ed indica la tensione esistente nello spazio chiuso. Il tubo *e*, che parte dal pallone, comunica, o coll'atmosfera esterna, o colla campana di una macchina pneumatica, o con una tromba premente, secondo che si voglia esperimentare o alla pressione atmosferica; o ad una pressione inferiore; o ad una pressione maggiore di quella atmosferica. Nel primo caso si estrae tanta aria da ridurre la pressione a quella per la quale si vuol conoscere la temperatura del vapore: allora, riscaldata mediante un fornello la boccia *a*, l'acqua in essa entrerà in ebollizione, allorquando la tensione del suo vapore sarà eguale a quella sovrastante; allora la temperatura rimarrà ferma, ed osservando simultaneamente il termometro immerso nel vapore, ed il manometro, si nota qual temperatura risponde a quella data tensione. Intanto il vapore, condensandosi in *b*, ri-

torna ridotto in acqua alla boccia. Lasciando entrare una porzione d'aria si ottiene una pressione maggiore; si torna a far bollire l'acqua, e si nota nuovamente la temperatura. Così si procede fino a che si giunge alla pressione atmosferica. Per le pressioni maggiori si comprime aria. nello strumento per mezzo della tromba premente; e giunta l'acqua all'ebollizione si osservano come prima termometro e manometro.

Il raffreddamento del tubo *b* e del pallone, è necessario a fine di non lasciar aumentare la tensione per effetto del vapore, che in modo diverso comprimerebbe l'aria; ed essendo inclinato il tubo *b*, l'acqua proveniente dalla condensazione del vapore cola, come dicemmo, nella pentola, sicchè il liquido non diminuisce durante l'esperimento; per altro, secondo la legge di Dalton, la temperatura massima, ossia quella in cui l'acqua bolle, è quella medesima del vapore avente tensione egnale alla pressione sostenuta dal liquido; basta dunque constatare la temperatura d'ebollizione sotto le pressioni volute. Nell'appendice di questa Lezione abbiamo riportato quelle fra le cifre di Regnault che sono necessarie al nostro studio.

23. *Teorica dell'Ebollizione.* — Non è difficile formarsi un'idea delle condizioni fisiche da cui dipende la legge di Dalton: infatti la vera differenza tra l'evaporazione e l'ebollizione si è, che nella prima lo svolgimento di vapore ha luogo solo alla superficie, mentre nella seconda il vapore si genera nel corpo medesimo del liquido. Ed è manifesto che tale vapore non potrebbe esistere nella massa, se non avesse tensione capace di resistere alla pressione esterna. Inoltre, l'evaporazione superficiale non esige alta temperatura poichè le particelle sono tenute per attrazione solamente da un lato; e invece l'attrazione è più possente per le particelle interne, essendo che queste son trattenute da tutti i lati.

S'intende pure perchè la temperatura d'ebollizione si

abbassa diminuendo la pressione: essendo le particelle strette insieme con forza minore, è chiaro che basterà pure forza minore a separarle; e sappiamo che la forza elastica del vapore varia insieme con la temperatura.

Il mantenersi costante il punto d'ebollizione sotto una pressione stabilita, proviene da questo: una volta raggiunta la temperatura rispondente alla forza compressiva, niuna cosa impedisce al vapore di fuggire dall'acqua; esso per conseguenza si sottrae all'influenza calorifera; d'altra parte l'acqua non può riscaldarsi oltre, poichè niuna cosa impedisce che essa diventi vapore; epperò tutto il calore prestato all'acqua già bollente, si adopera nel cangiarla in vapore *alla medesima temperatura*; si trasforma tutto, dunque, in forza potenziale, che rimane nelle particelle allontanate fino a che sarà loro permesso di unirsi di nuovo.

Conséguita dal fin qui detto che, se impediamo la generazione del vapore, la temperatura non sarà più limitata; poichè inibendo al calore di trasformarsi nel cangiare le distanze molecolari, lo costringiamo a rimanere tutto nell'acqua. S'intende che a far ciò bisognerebbe frenare sempre più la tensione, essendo che l'acqua tende a pigliare lo stato vaporoso con forza eguale a quella del vapore della temperatura medesima. Siccome non si è potuto stabilire una legge per l'aumento della forza elastica con la temperatura, la nostra conoscenza è limitata dalle esperienze fatte, che, come dicemmo, non vanno al di là delle 28 atmosfere. Tuttavia il rapidissimo crescere della tensione sino a questa citata, dimostra che con temperature non troppo elevate, la forza elastica diverrebbe spaventevole, e quindi essere estremamente pericoloso l'esporre l'acqua al fuoco senza permettere l'uscita del vapore, che porta via calore trasformato, ed impedisce così l'innalzarsi della temperatura.

24. *Effetto dei Sali Disciolti.* — Lo sciogliersi di un sale nell'acqua, denota che èvvi attrazione fra esso e l'ac-

qua solvente; difatto il sale si diffonde per tutta la massa liquida, quantunque sia in piccolissima quantità. Ne conséguita che le particelle formanti una soluzione, si tengono vicendevolmente più strette che non quelle del liquido semplice. È quindi naturale il supporre che a svincolarle ci vorrà forza maggiore; ed è così infatti: le soluzioni bollono a temperature più elevate di quelle a cui bollono i liquidi che non contengono sostanze disciolte (1).

Una soluzione satura di sal marino bolle a circa 109°; e di cloruro di calcio a 180°; questo significa che la forza attrattiva del sal marino equivale a 0,37 di atmosfera, poichè la tensione del vapore a 109° è appunto 1,37 atmosfera; e che l'attrazione del cloruro di calce equivale a quasi 9 atmosfere, essendo che la tensione del vapore a 180° eccede di questa quantità la tensione atmosferica.

25. *Temperatura del Vapore svolto dalle Soluzioni Saline Bollenti.* — Abbiamo da notare una circonstanza assai importante intorno a questo argomento: essendo il vapore svolto sotto la pressione dell'atmosfera, è chiaro che se fosse nello stato naturale dovrebbe avere la temperatura di 100°; ma essendo svolto da un liquido bollente a 180° (nel caso del cloruro di calce), ognuno crederebbe trovarlo soprariscaldato; e se non alla temperatura del liquido, almeno ad un grado superiore de' 100°; il

(1) S'intende che vanno eccettuati quei casi in cui la sostanza disciolta sia per sè medesima capace di bollire a temperatura inferiore; come per esempio lo spirito: non v'ha dubbio che l'acqua e lo spirito si attraggono, e formano un composto unico, poichè la loro unione è accompagnata da svolgimento di calore, e ne segue che le particelle del miscuglio si stringono con forza maggiore e che sarà necessaria pure forza maggiore a distaccarle; tuttavia d'altra parte sappiamo che lo spirito acquista forza molto più prestamente che l'acqua, e quindi le particelle si svincolerebbero a temperatura più bassa. Il punto d'ebollizione del composto sarebbe dunque più basso di quello dell'acqua non ostante il legame aggiunto fra le particelle; ma solo perchè lo spirito a parità di temperatura dà vapori più forti.

Digitized by Google

fatto prova il contrario : il vapore esce dalla massa bollente, sempre a 100 gradi, e sembra affatto insensibile alla temperatura molto più elevata del liquido medesimo. Questo fatto, veramente singolare, sembra costituire una eccezione alla legge generalissima dello scambio del calore tra' corpi a diversa temperatura; e quantunque bene accertato, manca del tutto di spiegazione (1).

(1) Vedi l'appendice di questa Lezione.

Digitized by Google

APPENDICE ALLA LEZIONE IV.

Tavola di temperature d'Ebollizione sotto la pressione Atmosferica.

CORPI	Temperatura d'ebollizione
Acido solforoso	—10°
Etere solforico	+37°
Alcool	79°
Acqua pura	100°
Acqua satura di sal marino	109°
Acqua satura di carbonato di potassa . . .	135°
Acqua satura di cloruro di calcio	179°
Essenza di trementina	150°
Fosforo.	290°
Acido solforico concentrato	325°
Mercurio	350°
Zolfo	440°

Digitized by Google

Tavola della Forza Elastica del Vapor d' acqua in millimetri di mercurio alla latitudine di Parigi (48° 50'). *Secondo Regnault.*

(Da Balfour Stewart, *Elementary Treatise on Heat*).

Temperatura.	Forza Elastica.	Temperatura.	Forza Elastica.
	mm.		mm.
—32°	0,320	+ 1°	4,940
31	0,352	2	5,302
30	0,386	3	5,687
29	0,424	4	6,097
28	0,464	5	6,534
27	0,508	6	6,998
26	0,555	7	7,492
25	0,605	8	8,017
24	0,660	9	8,574
23	0,719	10	9,165
22	0,783	11	9,792
21	0,853	12	10,457
20	0,927	13	11,162
19	1,008	14	11,908
18	1,095	15	12,699
17	1,189	16	13,536
16	1,290	17	14,421
15	1,400	18	15,357
14	1,518	19	16,346
13	1,646	20	17,391
12	1,783	21	18,495
11	1,933	22	19,659
10	2,093	23	20,888
9	2,267	24	22,184
8	2,455	25	23,550
7	2,658	26	24,988
6	2,876	27	25,505
5	3,113	28	28,101
4	3,368	29	29,782
3	3,644	30	31,548
2	3,941	31	33,406
1	4,263	32	35,359
0	4,600	33	37,411

Digitized by Google

Temperatura.	Forza Elastica.
	mm.
34°	39,565
35	41,827
36	44,201
37	46,691
38	49,302
39	52,039
40	54,906
41	57,910
42	61,055
43	64,346
44	67,790
45	71,391
46	75.158
47	79,093
48	83,204
49	87,499
50	91,982
51	96.661
52	101,543
53	106,636
54	111,945
55	117,478
56	123,244
57	129,251
58	135,505
59	142,015
60	148,791
61	155,839
62	165,170
63	170.791
64	178,714
65	186,945
66	195,496
67	204,576
68	213,596
69	123,165
70	233.093
71	243,393
72	254,073
73°	265,147
74	276,624
75	288,517
76	300.838
77	313.600
78	826,811
79	340,488
80	354,643
81	369,287
82	384,435
83	400,101
84	416,298
85	433.041
86	450.344
87	468.221
88	486,687
89	505.759
90	525,450
91	545,778
92	566,757
93	588.406
94	610,740
95	633,778
96	657,535
97	782.029
98	707,280
99	733.305
100	760,000
101	787,690
102	816.010
103	845,280
104	875,410
105	906,410
106	938,310
107	971,140
108	1004,910
109	1039,650
110	1075,370
111	1112,090

Tempera-tura.	Forza Elastica.	Tempera-tura.	Forza Elastica.
	mm.		mm.
112°	1149,830	151°	3678,43
113	1188,610	152	3777,74
114	1228,470	153	3879,18
115	1269,410	154	3982,77
116	1311,470	155	4088,56
117	1354.660	156	4196,59
118	1399,020	157	4306,88
119	1444,550	158	4419,45
120	1491,280	159	4534,36
121	1539,250	160	4651,62
122	1588.470	161	4771,28
123	1638,960	162	4893,36
124	1690,76	163	5017,91
125	1743,88	164	5144,97
126	1798,35	165	5274,54
127	1854,20	166	5406,69
128	1911,47	167	5541,43
129	1970,15	168	5678,82
130	2030,28	169	5818,90
131	2091,94	170	5961,66
132	2155,03	171	6107.19
133	2219,69	172	6256,48
134	2285,92	173	6406,60
135	2353,73	174	6560,55
136	2423,16	175	6717,43
137	2494,23	176	6877,22
138	2567,00	177	7039,97
139	2641,44	178	7205,72
140	2717,63	179	7374,52
141	2795,57	180	7546,39
142	2875,30	181	7721,37
143	2956,86	182	7899,52
144	3040,26	183	8080,84
145	3125,55	184	8265,40
146	3212,74	185	8453,23
147	3301,87	186	8644,35
148	3392,98	187	8838,82
149	3486,09	188	9036,68
150	3581,23	189	9237,95

Digitized by Google

Temperatura.	Forza Elastica.	Temperatura.	Forza Elastica.
	mm.		mm.
190°	9442,70	211°	14611,32
191	9650,93	212	14902,22
192	9862,71	213	15197,48
193	10078,04	214	15497,17
194	10297,01	215	15801,33
195	10519,63	216	16109,94
196	10745,95	217	16423,15
197	10975,00	218	16740,90
198	11209,82	219	17063,29
199	11447,46	220	17390,36
200	11688,96	221	17722,13
201	11934,37	222	18058,64
202	12183,69	223	18399,94
203	12437,00	224	18746,07
204	12694,30	225	19097,04
205	12955,66	226	19452,92
206	13221,12	227	19813,76
207	13490,75	228	20179,61
208	13764,53	229	20550,48
209	14042,52	230	20924,40
210	14324,80		

Digitized by Google

SULLA TEMPERATURA
DEI VAPORI SVOLTI DALLE SOLUZIONI SALINE BOLLENTI.

MEMORIA DEL SIGNOR GIUSEPPE GILL (1).

Nel trattare della temperatura dei vapori svolti dalle soluzioni bollenti, dovrebbe ammettersi che il vapore consista di acqua pura, e che sia libero di ogni traccia della sostanza disciolta. Con questa condizione, se si osserva nel vapore una temperatura superiore a quella dell'acqua bollente sotto la data pressione, bisogna conchiuderne che il vapore è soprariscaldato; e nella investigazione sperimentale di questa materia è essenziale conoscere se tale soprariscaldamento provenga dal liquido stesso, oppure da irradiazione, o conduzione dei lati del recipiente. A prima vista sembra difficile tale condizione; perfino nell'apparecchio di Regnault per graduare i termometri, se il liquido fosse sensibilmente più caldo dell'acqua pura bollente sotto eguale pressione, le pareti del recipiente comunicherebbero alquanto calore al vapore per conduzione, sebbene probabilmente la quantità sarebbe inapprezzabile, se l'evoluzione del vapore fosse comparativamente rapida. Negli esperimenti del professore Magnus (2) sopra soluzioni bollenti sino a 118° in alcuni casi, la conduzione lungo le pareti del recipiente doveva essere di molto rilievo, e certamente il termometro doveva sentirne effetti notevoli, tanto pel soprariscaldamento del vapore per contatto e per irradiazione, quanto per irradiazione sullo stesso termometro.

Molti anni sono, Gay-Lussac enunciò essere la temperatu-

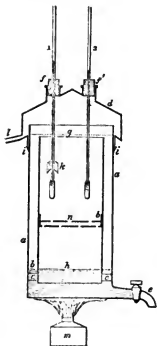
(1) Estratto dal Giornale di *Scienze Naturali ed Economiche*. — Vol. IV, 1868. Palermo.

(2) *Annalen* di Poggendorff, vol. CXII, p. 408.

ra del vapore svolto da qualsiasi liquido bollente, eguale a quella del liquido stesso nel punto ove vien formato il vapore; e Faraday (1) confermò questa opinione, che senza dubbio è esatta, tanto pei liquidi semplici in generale quanto per le soluzioni, in ciò che riguarda l'azione molecolare; vale a dire che ogni particella di vapore in una soluzione bollente, si forma sotto una pressione e ad una temperatura, rispondenti a quella del vapore di acqua semplice che bolla allo stesso grado: la differenza tra la quale temperatura più alta, e il punto d'ebollizione ordinario, essendo dovuta alla attrazione fra le particelle del corpo disciolto, e quelle dell'acqua. Ma sarebbe naturalmente da supporsi che, una volta allontanate le particelle vaporose, e formate bolle di qualche estensione, cesserebbe quasi totalmente la forza attrattiva, che può operare solamente a distanze molecolari: le particelle riunite in bolle, dunque, non essendo più represse, si dilaterebbero, e la loro tensione cadrebbe a quella dell'atmosfera che le circonda; per conseguenza esse formerebbero (sotto la pressione atmosferica) vapore saturo a 100°, se non fossero riscaldate dal liquido più caldo.

Sembra probabile che la più piccola bollicina che possiamo scorgere in una massa di liquido bollente, sia formata di un vasto numero di singole particelle di vapore. Si può supporre che lo strato di particelle vaporose formanti la superficie interna della bolla, abbia la temperatura del liquido col quale è in contatto, e che sia sottoposto ad una pressione rispondente a quella temperatura; ma la massa di particelle nel corpo della bolla, sarebbe a tale distanza dal liquido da non poter sentire l'influenza attrattiva delle particelle saline. Si può supporre però che ogni piccola massa di vapore assuma, nell'istante della suá formazione, una densità ed una temperatura corrispondenti con la pressione locale, per poi dilatarsi, e perdere nel tempo stesso la sua temperatura, allontanandosi dalle particelle saline, formando, cioè, bolle visibili. Se la bolla rimanesse per qualche tempo circondata dal liquido più caldo, sarebbe necessario supporre che

(1) Quarterly Journal of Science, 1823.

essa verrebbe soprariscaldata; ma il modo nel quale potesse effettuarsi la comunicazione di calore dal liquido al vapore, non si può facilmente immaginare, nè si potrebbe conoscere praticamente la temperatura di una singola bolla. Ma circondando una massa vaporosa di pareti mantenute costantemente bagnate da uno strato di soluzione calda, essa si può mettere in circostanze quasi eguali a quelle di una bolla nel corpo del liquido, ed allora si può investigare comodamente il suo carattere termico. Con tale scopo ho adoperato il piccolo apparecchio rappresentato nell'annessa figura; e i risultamenti di alcune esperienze che ho fatto con esso, sono, io credo, abbastanza notevoli da meritare seria attenzione.

Il recipiente cilindrico *a*, di latta, un decimetro circa in diametro e 18 centimetri alto, circonda un cilindro interno *b*, il quale, aperto sotto e sopra, è mantenuto in posizione concentrica da quattro sostegni a molla *c*, *c*, che premono leggermente l'interno del primo cilindro; tra il fondo di quest'ultimo e lo orlo di *b* èvvi uno spazio libero di circa 25 millimetri. La posizione del coperchio amovibile *d*, è stabilita dai pezzetti sporgenti *i*, fissi al cilindro; esso è di forma conica, dimodochè il liquido che si potrebbe formare sulla sua superficie interna, per condensazione di vapore, possa scorrere al canale anulare che lo circonda, e colare per il tubo *l*, che dà esito pure al vapore. Per i colli *f*, *f'*, vengono introdotti due termometri che attraversano appositi turaccioli di sughero.

Si preparò una soluzione satura di sal marino, la quale bolliva a 109°. Si riempì di questa salamoia il recipiente *a* sino al livello *g*, e la si fece bollire lentamente per mezzo della lampada a spirito *m*. Il collo *f'* essendo chiuso, s'introdusse il termometro N.° 1 pel collo *f*; il turacciolo *k*, tagliato a foggia di cono vuoto, fa sì che il bulbo non venga bagnato dal liquido che potesse formarsi sulla parte soprastante del termometro, e ripara il bulbo in qualche modo pure dall'irradiazione verso l'alto. Quando il vapore usciva costantemente dal tubo *l*, il termometro indicava 109°. Essendo tale lo stato delle cose, si aprì lentamente il robinetto *e*, lasciando effluire la salamoia; questa si riceveva in un recipiente la cui capacità era regolata in modo da fare conoscere l'altezza del liquido rimanente in *a*; giunto questo al livello *h*, si chiuse il robinetto, e il termometro col turaccio *k*, rimase immerso in un'atmosfera di vapore, e bagnato sino al punto *g* di salamoia. Il diaframma doppio *n*, è forato in modo da impedire un passaggio diretto, ed esso perciò ripara il termometro dagli spruzzi di salamoia che potrebbero essere lanciati in alto dal liquido bollente. La fiamma della lampada si manteneva quanto più possibile costante, e dal tubo *l* usciva una corrente di vapore, continua ma non violenta. Le superficie del cilindro *b* sarebbero rimaste bagnate di salamoia, come il termometro, e la parte superiore del recipiente *a* sarebbe piena di vapore della pressione atmosferica.

Abbiamo qui un termometro sospeso in un'atmosfera di vapore, supposta alla temperatura di 100°, secondo le deduzioni di Rudberg confermate da Regnault. Secondo gli esperimenti del professore Magnus la temperatura del vapore sarebbe circa 106°. Il fatto mostrato dall'esperimento che descrivo è : che non venne prodotto sul termometro alcun effetto di rilievo dalla sottrazione della salamoia, e dall'essere quello rimasto circondato di un'atmosfera vaporosa, formata e ancora formantesi, dalla salamoia, sotto la pressione atmosferica; infatti la temperatura rimase quasi ferma a 109° per parecchi minuti. L'esperimento non si poteva prolungare molto, perchè il sale precipitato dal liquido in ebollizione,

avrebbe potuto far dissaldare il fondo del recipiente, accumulandosi sopra di esso; ma l'intervallo fu sufficiente a mostrare che il termometro aveva pochissima tendenza a discendere; ed è assai probabile che se le condizioni dell'esperimento potessero mantenersi costanti, il termometro continuerebbe ad indicare la temperatura 109°, abbenchè circondato di vapore a 100°. Si può assumere che la temperatura del cilindro *b* sia la stessa del termometro, quando si lascia effluire la salamoia. Il sostenersi della temperatura del termometro deve attribuirsi o all'azione termica del vapore per contatto, o all'irradiazione, o a tutti e due queste cause; ma è probabile che l'azione diretta della corrente di vapore, anche con una ebollizione lenta, eccederebbe di molto quella dell'irradiazione, e pur ammettendo che il vapore potesse avere nel lasciare il liquido una temperatura di circa 106° (per come trovò Magnus con soluzioni bollenti a 109°), pure l'effetto di questa temperatura e insieme dell'irradiazione delle superficie interne a 109°, non sarebbe sufficiente a spiegare la temperatura quasi ferma a 109° mostrata dal termometro. L'unico modo ovvio di spiegare tale fatto sarebbe di supporre il vapore soprariscaldato senz'altro a 109°. La quistione venne decisa come segue.

Siccome l'esperimento era durato già alcuni minuti, e vi era qualche rischio di danneggiare per soverchio scaldamento il fondo del recipiente *a*, si sospese l'azione, e si nettò il recipiente, togliendo l'accumulazione di sale, e lo si riempì nuovamente di salamoia sino al livello *g* come prima. Dopo averla fatta bollire per qualche istante (il termometro N.° 1 indicava 109°), si sottrasse la salamoia sino ad *h*, come nel primo esperimento, e durante un minuto si osservò il termometro indicare costantemente 109°. La fiamma si manteneva ferma quanto più possibile, e si suppose essere il tutto nelle condizioni del primo esperimento; rimaneva chiarire (se possibile) la vera temperatura della massa di vapore. Si scaldò alla lampada un secondo termometro (N.° 2) tanto da far salire il mercurio a 125°; e tolto il turacciolo *f* s' inserì istantaneamente in sua vece il termometro caldo. La sua

temperatura cadde rapidamente a 100°,5, e poi cominciò a salire lentamente; dopo due minuti essa era a 102°,5. Si dedusse da questo, essere la vera temperatura del vapore probabilmente 100°, e che l' irradiazione produsse qualche effetto sul termometro asciutto, quantunque di pochissimo conto in paragone all'azione diretta del vapore. L'effetto dell'irradiazione si osservò anche sul termometro N.° 1, essendosi abbassata la sua temperatura di circa mezzo grado per la prossimità dell'altro termometro più freddo.

In questo esperimento abbiamo due termometri che, nell'istante in cui le temperature si resero eguali per l'abbassamento del termometro N.° 2, si trovarono in circostanze affatto identiche, eccetto solo che mentre il N.° 2 è asciutto, l'altro si suppone bagnato di salamoia. Esso dovette rimanere bagnato quando si sottrasse la salamoia nella quale era immerso; ed essendo allora ad una temperatura rispondente al punto d'ebollizione del liquido; essendo circondato di una atmosfera di vapore saturo (1), continuamente formantesi dal liquido bollente; ed essendo comparativamente isolato da altre sorgenti di calore o di freddo, non potrebbe nè evaporare la salamoia di cui è rivestito, nè condensare alcuna parte del vapore dal quale è circondato. Le superficie delle pareti di *b* sarebbero nelle stesse circostanze, epperò si può supporre che esse rimangono bagnate di uno strato di salamoia a 109° mentre durano costanti le condizioni. Nel primo esperimento si vide che il termometro N.° 1 rimase fermo alla temperatura di 109°, immerso in un'atmosfera la cui temperatura era 100°, per come venne stabilito dal secondo esperimento. Nell'istante in cui venne immerso nel vapore il termometro N.° 2, si osservò accuratamente la sua temperatura, e la si trovò 118°; ed essa cadde rapidamente non solo a 109°, ma quasi sino ai 100°, sempre con prestezza; e la frazione di grado al di sopra di quel punto era evidentemente dovuta

(1) Dev'essere saturo essendo la sua temperatura 100° sotto la pressione atmosferica, come venne provato.

Digitized by Google

all'irradiazione, che tende a contrariare l'effetto refrigerante del vapore. Qui il termometro N.° 2 si comporta come si crede universalmente che faccia il termometro : cioè esso prende la temperatura dell'ambiente nel quale è immerso; ma il primo esperimento mostra con chiarezza che, se si abbassasse il termometro N.° 2 tanto da tuffarlo nella salamoia (supposto levato perciò il diaframma), esso prenderebbe la temperatura di 109°, e la conserverebbe dopo di esser rimesso al posto iniziale nel mezzo del vapore, dove poc'anzi aveva indicato la temperatura di 100°. Quale misteriosa virtù può aver sede nel sottile strato di salamoia aderente al termometro, che lo renda insensibile, con una differenza di temperatura in questo caso eguale a 9°, all'azione termica supposta universale? Dipende il fenomeno dall'essere il termometro bagnato di un liquido qualunque? No certo; poichè se esso viene riscaldato in un bagno di olio invece che alla lampada, ed inserito nel collo f' bagnato ancora di olio, esso mostra gli stessi effetti come se fosse asciutto ; e senza dubbio l' effetto sarebbe il medesimo bagnando il termometro di qualsiasi altro liquido non evaporabile nel vapore, e non suscettibile di azione chimica nelle date condizioni. Si conosceva già da più tempo, che l'azione del vapor d'acqua a 100° sulle soluzioni saline, o sui cristalli di alcuni sali, può produrre temperature superiori a 100°; ma non si è mai supposto che una sostanza qualunque risultante dalla combinazione di un sale coll'acqua, potesse, dopo terminata l'azione chimica, conservare la sua temperatura più alta per un tempo indefinito in un'atmosfera di vapore a 100°. Il signor Rüdorff, allievo di Magnus, che ravvivò il metodo di scaldare il termometro, che Faraday aveva adoperato più di quarant'anni sono, concepì anche l'idea di tuffare il termometro nel liquido bollente e poi tirarlo su nel vapore soprastante ; ma sembra, dalla memoria di Magnus citata sopra, che non potè ricavare risultamenti certi da questo metodo. S'egli avesse mantenuto le sue soluzioni bollenti in uno stato costante di saturazione, e bagnate sempre le pareti del recipiente di uno strato di liquido caldo, sarebbe stato sorpreso nell'osservare il feno-

meno paradossale di un corpo ad una temperatura notevolmente più elevata di 100°, che rimane per un tempo indefinito in un bagno di vapore a 100° senza abbassare di temperatura.

Se la salamoia comunicasse calore al vapore (come potremmo supporre dietro gli esperimenti di Magnus), il vapore medesimo verrebbe soprariscaldato a misura che la salamoia si raffredderebbe; e se le masse rispettive di salamoia e di vapore poste in contatto (supponendole isolate da ogni influenza esterna), fossero esattamente proporzionate alle loro rispettive azioni termiche, si potrebbe supporre forse, guardando superficialmente la cosa, che avverrebbe tra loro un agguagliamento di temperatura; che la salamoia raffreddandosi tenderebbe a condensare vapore, e che il vapore essendo soprariscaldato resisterebbe all'azione assorbente della salamoia. Ma quando lo strato di salamoia è sempre in contatto con una incessante corrente di vapore, che spazza le sue superficie, e che continuamente rimuove le particelle soprariscaldate, rimpiazzandole con altre sature a 100°, è evidente che la salamoia continuerebbe ad assorbire e a condensare sempre più vapore, tanto che dopo qualche tempo diverrebbe diluita in modo da non differire di molto dall' acqua pura ; e conseguenza inevitabile ne sarebbe il proporzionato raffreddamento. Ora l' esperienza prova, che sotto le condizioni suddette la temperatura non si abbassa; epperò possiamo conchiudere che tra la salamoia a 109° e il vapore a 100° non avviene comunicazione di calore. E sembra esservi ragione di credere che simili risultati, varianti in grado, sarebbero ottenuti con soluzioni acquee di altri sali, e coi liquidi tutti il cui punto di ebollizione viene innalzato per lo scioglimento in essi di altri corpi; probabilmente si avrebbero ancora con amalgame di mercurio bollenti a temperature più elevate che non il mercurio puro. Potrebbe anche dedursi analogicamente, che le soluzioni acquee calde, sebbene ricusino di cedere calore al vapore saturo più freddo di loro, scalderebbero facilmente miscugli saturi di aria e vapore a 100°, nel quale caso l'aria sola riceverebbe calore direttamente dal liquido, per comunicarlo poi in parte al vapore col quale è mista.

Digitized by Google

Nell'eseguire questi esperimenti non è facile mantenere le volute condizioni costanti, in modo da ottenere risultati assai precisi; il raffreddamento del recipiente *a* nell' apparecchio descritto, fa sì che la salamoia che ne ricopre l'interno, assorba e condensi vapore; allora la superficie esterna di *b* irradia calore alle pareti più fredde di *a*; e gli strati di salamoia di cui sono rivestiti ambo i lati delle pareti *b*, assorbiscono per conseguenza vapore, e mano mano si vanno lavando; allora il calore condotto verso sopra dai metalli, tende ad asciugare le superficie, epperò a soprariscaldare il vapore. In un'altra disposizione dell'apparecchio, il fondo di *a* fu ingrandito, e si saldò intorno ad esso un fodero cilindrico, che si manteneva pieno di salamoia, fatta bollire dalla lampada di sotto; ma si trovò che la lieve pressione idrostatica della colonna di liquido, era sufficiente a rendere più alto il punto d'ebollizione di questa massa di salamoia, di quello dell'attra bollente in *h*; e da ciò risulterebbe il soprariscaldamento del vapore, asciuttandosi le pareti de' recipienti. Essendo gli esperimenti eseguiti per come descritti nelle precedenti pagine, la prima prova mostra un rapido discendere del termometro N.° 2 sino a quasi 100°. Se si lascia passare un po' di tempo e si ripete l'esperimento, scaldando di nuovo il termometro, ordinariamente la seconda volta non si ottiene la stessa discesa di temperatura. Si dovrebbe ogni volta levare la salamoia, togliere il sale accumulato sul fondo, e nettare il diaframma *n*, che talvolta s' imbratta anch'egli di sale; poi riempire nuovamente l'apparecchio per un secondo esperimento. Per un'investigazione più accurata, lo strato di salamoia sulle superficie potrebbe essere costantemente rinnovato, facendo circolare meccanicamente una porzione del liquido di sotto; e il cumulo del sale potrebbe raschiarsi dal fondo mediante un filo metallico che passerebbe attraverso una scatola a stoppa o un pezzetto di tubo di caoutchouc, portandolo in un recipiente laterale non esposto alla fiamma.

Prima di andare più oltre in questa investigazione, vorrei veder ripetute da mani più perite le mie semplici esperienze, con quelle amplificazioni che naturalmente si affacceranno

Digitized by Google

all'intelligente fisico. Il proprio studio della cosa è stato in qualche maniera guidato da un raziocinio che sarebbe qui fuori luogo, e che indica risultamenti di grande e svariato interesse; ma io immagino che i fenomeni effettivi sinora descritti, dovrebbero colpire lo scienziato, se non per altro, per la loro singolarità.

Palermo 11 novembre 1866.

Digitized by Google

LEZIONE V.

26. Quantità del Calore speso nella Vaporizzazione. — 27. Influenza della Pressione sul Calore di Vaporizzamento. — 28. Equivalente Meccanico del Calore di Vaporizzazione.

APPENDICE. — Tavola del Calore Totale.

26. *Quantità del calore speso nella vaporizzazione.*— Dicemmo (§ 18) che ogni qualvolta avviene evaporazione o ebollizione èvvi assorbimento di calore; una parte di esso esiste qual moto nelle particelle vaporizzate, e il rimanente si consuma nel distruggere l'intreccio molecolare, pigliando la forma di forza potenziale, lavoro interno, ovvero, come direbbero gli antichi fisici, di calore latente. In ogni modo è chiaro che il calore necessario al cangiamento di stato si divide in due porzioni ben distinte; e inoltre l'esperienza mostra, che, nelle circostanze ordinarie, è molto maggiore quella che si trasforma, di quella che rimane qual moto: — Se poniamo sopra una fiamma costante una certa quantità di acqua allo zero, e notiamo quanto tempo debba trascorrere perchè l'acqua bolla a 100°; e poi, lasciando il tutto nel medesimo stato, osserviamo in quanto tempo l'acqua si vaporizza affatto, potremo formarci un'idea di quanto calore occorre a vaporizzare il liquido, in rapporto a quello che lo portò all'ebollizione. L'esperimento ci dice che, se a far bollire l'acqua occorre un'ora, a vaporizzarla occorrono altre 5 ore e 20 minuti circa. E questo significa che il calore trasformato è 5 $^1/_3$ volte più di quello che

rimane intatto; poichè entrata l'acqua in ebollizione cessa l'aumento di temperatura, e quindi tutto il calore preso si cangia di forma nell'atto medesimo dell'ebollizione; e non abbiamo ragione di supporre che cangi di molto lo assorbimento del calore.

L'esperienza può farsi pure così: — fig. 13; messa nel recipiente *a* una quantità misurata di acqua a 0°, si fa bollire quella della storta *b;* il vapore svolto penetra, per la propria elasticità, nel tubo *c* e tende a sfuggire in mezzo dell'acqua in *a,* se non che, trovandola molto più fredda, le cede il suo calore; non può esistere sotto la pressione atmosferica a temperatura inferiore de' 100°, e quindi si condensa mescolandosi con l'acqua in *a,* e riscaldandola nel tempo medesimo. Si ha, dunque, che questa va mano mano aumentando di volume, e nel tempo medesimo si va riscaldando; vedremo or ora che il vapore nel liquefarsi restituisce non solamente il calore che contiene qual moto, ma pure quello che possiede trasformato; e per conseguenza l'aumento di temperatura subìto dall'acqua, denota il calore di vaporizzazione del vapore liquefatto, nel mentre che l'aumento di volume denota la quantità del vapore medesimo. Da questi due elementi, dunque, si può computare il calore totale; e se continuiamo l'operazione sino a che l'acqua in *a* bolle, vedremo che il suo volume sarà cresciuto nel rapporto di 5 $\frac{1}{3}$ a 6 $\frac{1}{3}$; e vuol dire che uno di vapore a 100° e 5 $\frac{1}{3}$ di acqua a zero, dànno misti insieme, 6 $\frac{1}{3}$ di acqua a 100°; e per conseguenza che il solo calore trasformato, il lavoro interno, posseduto da 1 di vapore a 100°, basta a riscaldare 5 $\frac{1}{3}$ di acqua da 0°. Dico il solo calore trasformato, poichè quello intatto rimane, la temperatura alla fine è quella medesima del vapore; quindi non facciamo altro se non liquefarlo, senza che sia in ultimo menomamente raffreddato.

I due esperimenti che abbiamo descritto forniscono un'idea chiara della cosa, ma non sarebbero adatti a dare

le quantità precise; il metodo adoperato dai fisici nell'eseguire tali determinazioni è a un dipresso questo : — fig. 14; il vapore svolto dall'acqua bollente in *a*, si condensa nel serpentino immerso nel bagno freddo *b;* l'acqua che affluisce dal becco *c* rappresenta il vapore condensato in un dato intervallo di tempo ; e il riscaldamento subìto dal bagno nel tempo medesimo, denota la quantità di calore corrispondente. Non lasciando che il bagno acquisti temperatura troppo elevata, riesce lieve la perdita per irradiazione; tuttavia Regnault, ad eliminare tale causa d'errore, usò due di questi bagni calorimetrici, e facendoli operare alternatamente, potè stabilire il quanto della perdita, e correggere le cifre ottenute. Regnault trovò che il calore di vaporizzazione di un chilogramma di vapore a 100° è 637 calorie; ciò vuol dire che a mandare in vapore a 100° un chilogramma di acqua allo zero, occorrono 637 calorie di calore; 100 rimangono qual calore nel fluido svolto; le rimanenti 537 si trasformano in lavoro interno, vincendo la coesione molecolare.

27. *Influenza della Pressione sul Calore di Vaporizzamento.* — Nell'atto della vaporizzazione avviene cangiamento di calore in lavoro interno, perchè le particelle attraentisi vengono separate: e difatto vedemmo trattando dell'ebollizione, che impedendo il dilatarsi del vapore si potrebbe riscaldar l'acqua senza limite, essendo che sarebbe resa impossibile la trasformazione del calore. Ne conséguita che quanto maggiore sia l'aumento di volume, tanto maggiore sarà la quantità di calore trasformato. Sappiamo che la temperatura del vapore aumenta con la pressione; e questo indica che la quantità di calore libero è maggiore nel fluido men dilatato, minore in quello più espanto; e qui sorge la dimanda: il calore di vaporizzamento cangia di quantità con le circostanze della tensione? Ed è molto importante, imperocchè noi possiamo generare il vapore con forza elastica diversa, e ci è necessario conoscere il calore voluto in ogni data condizione. A fine

Digitized by Google

di conoscere l'effetto del vario volume assunto dal fluido nel cangiamento di stato, Regnault fece una serie di esperimenti adoperando un congegno simile nell'idea a quello disegnato nella figura 14, se non che era tutto metallico, affinchè potesse resistere a forti pressioni, e disposto in modo da poter cangiare a volontà la tensione dell'atmosfera, chiusa ed isolata, con cui comunicava l'interno del serpentino e della caldaja. Così si poteva ripetere l'esperimento sotto diverse pressioni, e si aveva la quantità del calore di vaporizzazione nei diversi casi.

Gli esperimenti di Regnault indicano che la quantità di calore reso da una data quantità di fluido nel condensarsi, è a un dipresso costante, qualunque siasi la pressione; trovò in vero un piccolo aumento di calore per le tensioni più elevate, ma siccome la differenza è appena di due per cento fra un'atmosfera e 15, così possiamo ritenere che la quantità sia invariabile. Ne segue che, siccome aumenta la temperatura, cioè il calore libero, colla pressione, così debba diminuire di egual quantità quello trasformato in lavoro interno; poichè solamente in tal guisa può rimanere costante la somma dei due. Per altro è naturale supporlo, se ammettiamo esistere attrazione fra le particelle, poichè la maggior distanza a cui queste sono spinte nel vapore men denso, deve costar maggior fatica, e quindi calore se ne trasforma dippiù; quando invece, per esser limitato lo spazio, la separazione è minore, è minore pure il lavoro abbisognevole, e quindi la temperatura riesce più elevata.

Ciò che importa precisare si è, che la quantità del calore trasformato, del lavoro interno, diminuisce appunto quanto aumenta quello libero, quello cioè che si mostra qual temperatura. E che, per conseguenza, a formare un dato peso di vapore occorre sempre l'egual numero di calorie; e possiamo prendere, per gli usi nostri pratici, quello trovato da Regnault pel vapore a 100°, cioè 637, partendo da acqua allo zero. È manifesto che questa cifra

ci rappresenta pure la quantità di calore ceduto nella condensazione, e nel raffreddamento allo zero, di un chilogramma di vapore sotto qualsivoglia pressione; sempre supposto, per altro, che si abbia una sorgente di freddo capace di portarlo tutto allo zero.

28. *Equivalente Meccanico del Calore di Vaporizzazione.* — Ogni qualvolta viene spento un movimento meccanico qualunque, avviene sviluppo di calore: così quando un corpo cadente urta sul terreno; quando un pezzo di ferro viene gagliardamente percosso sull'incudine; quando si stropicciano due corpi insieme; quando si agita un liquido; e in generale quando si spende, e si perde apparentemente lavoro meccanico, i corpi che subiscono queste operazioni si scaldano. Da questo semplice fatto si potrebbe argomentare una conversione di lavoro in calore, poichè si vede sparire l'uno e comparir l'altro; e questa ipotesi è resa quasichè certezza dall'osservare che in molti e molti esperimenti, e con diverse maniere di operare, viene sempre l'egual quantità di calore dall'uguale quantità di lavoro. Si vede dunque che èvvi vera equivalenza fra questi due fenomeni: cosa per altro che potrebbe dedursi da quel che dicemmo intorno alla origine della elasticità dei fluidi (§ 4): derivare cioè tale fenomeno dalle percosse delle molecole sulle pareti dei recipienti, e costituire tale moto delle particelle l'essere del calore. Sicchè riscaldare un corpo, significa prestare moto più veloce alle sue molecole; raffreddarlo vuol dire privare le molecole di alquanto del loro movimento. Secondo questa maniera di vedere, è agevole spiegare la trasformazione del lavoro meccanico in calore: sarebbe unicamente il comunicarsi del moto della massa alle proprie particelle; e quindi il calore assume un vero valore dinamico, e si può misurare con le medesime unità con cui si rappresenta il lavoro meccanico.

Dietro un'immensa fatica esperimentale, Joule, in Inghilterra, stabilì il valore dell'equivalente dinamico, che

quasi nel medesimo tempo era stato rinvenuto per vie teoretiche da Mayer, in Germania; e questo valore è 424 chilogrammetri per una caloria di calore. Vale a dire che spendendo 424 chilogrammetri di lavoro, ne viene in cambio tanto calore quanto basta a scaldare da 0° ad 1° un chilogramma di acqua.

E vale pure l'inverso: quando vien prodotto, per mezzo del calore, un lavoro meccanico qualunque, per esempio quando per l'espansione di un fluido viene sollevato uno stantuffo, avviene una perdita di calore proporzionata, anzi equivalente, al lavoro svolto. Così ogni qualvolta il dilatarsi di una massa di vapore dà 424 chilogrammetri di lavoro, sparisce da quella massa una caloria di calore, che si trasforma appunto nel lavoro reso. E similmente per ogni altra quantità.

Possiamo adesso computare a quanto lavoro meccanico risponde il calore di vaporizzazione, e possiamo provarci a concepire quale sia il valore della forza che dobbiamo superare, nell'atto di mandar l'acqua in vapore. Dicemmo che a vaporizzare un chilogramma di acqua a 100° partendo dallo zero, occorrono 637 calorie di calore; ogni caloria equivale a 424 chilogrammetri di lavoro; sicchè l'intera quantità di calore risponde a $637 \times 424 = 270\,088$ chilogrammetri, ossia un chilogramma cadente per 270 chilometri di verticale. Ma essendoci difficilissimo concepire una tale altezza, per avere un'idea più chiara della cosa è buono tradurre il lavoro in altre proporzioni: così se riduciamo il peso a 27 000 chilogrammi, dobbiamo ridurre l'altezza nella medesima proporzione, e quindi a 10 metri. Abbiamo dunque che il calore di vaporizzazione di un sol chilogramma di acqua allo zero, equivale al lavoro meccanico fornito dal peso di 27 tonnellate cadenti per 10 metri! Epperò a strappare le une dalle altre le particelle componenti un chilogramma di acqua, e a scaldarle a 100°, ci vuol tanta forza quanta ne occorre a lanciare all'altezza di 10 metri una massa pesante 27 ton-

nellate. Nella liquifazione poi, ritornano insieme le particelle, e nel loro unirsi si spiega un'azione precisamente simile a quella prodotta dal precipitare a terra il nostro masso di 27 tonnellate da 10 metri; tale essendo il valsente del calore reso nel cangiamento di stato. Considerando le distanze estremamente piccole in cui viene svolto tale lavoro, e il peso esilissimo delle particelle, una fervida fantasia può forse rappresentarsi in qualche modo la tremenda intensità dell'attrazione molecolare.

Digitized by Google

APPENDICE ALLA LEZIONE V.

Tavola del Calore Totale di Vaporizzazione del Vapor d'Acqua.

Secondo Regnault.

Temperatura del Vapore.	Calore Totale di un chilogr.	Temperatura del Vapore.	Calore Totale di un chilogr.
0°	606,5 Calorie	120°	643,1 Calorie
10°	609,5 »	130°	646,1 »
20°	612,6 »	140°	649,2 »
30°	615,7 »	150°	652,2 »
40°	618,7 »	160°	655,3 »
50°	621,7 »	170°	658,3 »
60°	624,8 »	180°	661,4 »
70°	627,8 »	190°	664,4 »
80°	630,9 »	200°	667,5 »
90°	633,9 »	210°	670,5 »
100°	637,0 »	220°	673,6 »
110°	640,0 »	230°	676,6 »

Digitized by Google

LEZIONE VI.

29. Densità dei Vapor d'Acqua.—30. Come varia la Densità con la Tensione. 31. Effetto dell'Espansione sui Fluidi Elastici.

APPENDICE: — Riassunto delle Lezioni sui Fluidi Elastici e il Vapor d'Acqua.

29. *Densità del Vapor d'Acqua.* — Essendo che proviene la forza delle macchine a vapore dall' espansione del fluido motore (§ 1), è importante conoscere le leggi di tale espansione, tanto nel trasformarsi l'acqua in vapore, quanto nel dilatarsi il vapore medesimo fuori contatto con sorgenti calorifere. È chiaro che il vapore debba cangiare di volume, e quindi di densità, con la pressione; noi supporremo dunque dapprima una pressione costante, quella dell' atmosfera, ed investigheremo quale densità assume il vapore sotto tale pressione; poi mostreremo come col variare questa, varii la densità.

Supponiamo di avere un volume conosciuto di acqua allo zero, mandarlo tutto in vapore sotto la pressione dell' atmosfera, e quindi misurare il volume del vapore prodotto; quest'ultimo dicesi il *volume specifico* del vapore a 100°; e il primo diviso pel secondo rappresenta la *densità* del fluido medesimo. Ecco come operò Gay Lussac per avere questi dati: nella pentola di ghisa *a*, fig. 15, contenente mercurio. è posta la campana di cristallo *b*, piena anch'essa di mercurio che viene sorretto dalla pressione atmosferica; la campana è circondata da un cilindro, anch'esso di cristallo, aperto ad ambe le estre-

la tensione del vapore è dunque eguale a un' atmosfera, o meglio all'altezza barometrica, meno la colonna *f*.

Gli esperimenti di Gay-Lussac mostrarono che il volume 1 di acqua a zero diviene 1684 convertito in vapore a 100° e sotto la pressione di 76 centimetri di mercurio. Il *volume specifico* del vapore a 100° è dunque 1680; e la *densità* del medesimo è $\frac{1}{1484}$. Per avere un' idea più chiara del prodigioso aumento di volume significato da queste cifre, possiam considerare che poco più di mezzo litro (0 , 6) di acqua, può riempire tutto di vapore della pressione atmosferica un metro cubico di spazio. L'aria atmosferica ha la densità di $\frac{1}{820}$; sicchè il vapore, a parità di pressione, pesa meno di metà d'un volume eguale di aria; e questo ci spiega perchè il vapore che scappa nell'atmosfera per l'ebollizione, oppure da una caldaja a vapore, vi si solleva rapidamente; infatti vi galleggia; se non che, dopo un certo tempo, pel raffredamento si condensa e vien giù.

30. *Come varia la Densità con la Tensione.* — Per essere la tensione del vapore strettamente collegata con la temperatura, non si può, col vapore, operare come si opera pei gas per istabilire la legge secondo la quale cangia la densità : non potremmo comprimere il vapore senza nel tempo medesimo riscaldare il recipiente che lo contiene, al grado che risponde alla tensione indotta; e non conoscendo la legge secondo cui varia tale tensione col volume, sarebbe impossibile proporzionare esattamente a quella la temperatura. L'unica maniera quindi di constatare la densità del vapore sotto varie pressioni si è quella di generarlo alla voluta tensione, ed osservare il volume assunto rispetto a quello dell'acqua che produsse il vapore. La maniera di condurre l'esperienza è, a un dipresso, simile a quella di Gay-Lussac, se non che lo strumento dev' essere costruito in modo da permettere che il vapore si

possa generare sotto diverse pressioni. Tuttavia l' esperimento è di somma difficoltà; appunto per lo strettissimo legame che unisce la tensione alla temperatura: nel metodo di Gay-Lussac, che per le basse pressioni sembra così bene adattato, s'incontra qualche grave inconveniente: per l'attrazione del vetro per l'acqua, accade che questa non si evapora tutta, ne restano invece alquanto bagnate le pareti della campana. E s' intende che ciò rende affatto impossibile conoscere il volume dell' acqua da cui venne il vapore; bisogna supporre che il liquido si evapori tutto, e allora si cade nell'errore di computare maggior quantità di acqua di quella che realmente formò il vapore, e ne viene un volume specifico men grande del vero. Se poi vogliamo guardarci da questa causa d'errore, riscaldando il bagno a un grado più alto di quello rispondente alla pressione atmosferica, avremo vapore sopriscaldato, e quindi non più nelle condizioni in cui trovasi nelle nostre macchine. Il fatto si è che non abbiamo sin ora esperimenti esatti e di fiducia sulla densità del vapore di varie tensioni, quantunque l'argomento sia di grande importanza.

Da una serie di esperimenti fatti in Inghilterra da Fairbairn e Tait, sembra che si possa dedurre, senza incorrere in grandissimo errore, che il vapor d'acqua, fra i limiti delle tensioni generalmente adoperate, segua, nel cangiare di densità con la pressione, la legge di Mariotte; cioè che il suo volume varii in ragione inversa della tensione, e la sua densità direttamente con la medesima : ma è d'uopo fare una distinzione importantissima: per l'aria questa legge è vera quando la temperatura rimane costante per tutte le tensioni; pel vapore questo non può essere, poichè ad ogni tensione risponde una temperatura particolare: diciamo, dunque, che il vapore segue a un dipresso la legge di Mariotte allorquando possiede la temperatura propria alla data tensione, e non altrimenti: infatti in modo diverso non sarebbe più vapore.

Assumendo ciò, riesce agevole computare il volume specifico e la densità per una tensione qualsivoglia, partendo dalle cifre date pel vapore a 100°; così il volume specifico a 3 atmosfere sarebbe $\frac{1}{3}$ di quello ad un'atmosfera, epperò: $\frac{1684}{3} = 561\,\frac{1}{3}$; a 10 atmosfere sarebbe: $\frac{1684}{10} = 168{,}4$; ad atmosfere 0, 25 sarebbe: $\frac{1684}{0{,}25} = 6736$; e così via.

Segue pure da questa supposizione, che, se si potesse portare la forza elastica a 1684 atmosfere, il volume del vapore sarebbe eguale a quello dell'acqua; e vale a dire, che se si riscaldasse l'acqua perfettamente chiusa, senza lasciarla dilatarsi, diverrebbe vapore con la tensione di 1684 atmosfere.

31. *Effetto dell' Espansione sui Fluidi Elastici.* — Vedemmo fin dalla prima lezione, che i fluidi elastici dànno lavoro meccanico nell'espandersi, nell'aumento di volume; infatti il movimento dello stantuffo non può avvenire senza generare, nell'atto medesimo, un certo volume che si aggiunge a quello iniziale. Può accadere, per esservi una produzione continuata di vapore nella caldaja, equivalente al volume generato dal moto dello stantuffo, che la tensione rimanga ferma; pur non di meno l'espansione ha luogo sempre, il volume si accresce ognora; se non che lo svolgimento perenne di vapore nella caldaja comprime tanto il fluido quanto lo dilata il moto dello stantuffo. In questo caso, adunque, l'effetto dell'espansione viene compensato, nascosto, ma ciò non toglie che vi sia sempre, e che avvenga costantemente ogni qual volta sia dato fuori lavoro meccanico da un fluido elastico. Possiamo da ciò stabilire che l'espansione accompagna *sempre* lo svolgimento di lavoro; e quindi è mestieri investigare quali effetti opera questo fenomeno nel fluido, poichè in questi riconosceremo la sorgente del lavoro reso.

Trattando della legge di Mariotte (§ 5) dicemmo che l'aria,

compressa si riscalda, dilatata si raffredda. Le esperienze delicatissime di Regnault hanno mostrato che a riscaldare un dato peso di aria un dato numero di gradi, occorre sempre la medesima quantità di calore, siasi qualsivoglia la pressione a cui è sottoposto il fluido. A portare dallo zero a 10° la temperatura di un chilogramma di aria, occorre sempre quella stessa frazione di caloria, sia che si abbia la tensione di 10 atmosfere o quella di pochi millimetri di mercurio. Da ciò conséguita evidentemente, che la temperatura d'una massa d'aria non dovrebbe subìre cangiamento alcuno nè per compressione nè per aumento di volume; poichè quel calore che contiene, basta a darle quella data temperatura, e sotto qualsiasi pressione. Ma vediamo riscaldarsi l'aria quando viene compressa, e raffreddarsi quando la si dilata; ed è forza conchiuderne, stando agli esperimenti di Regnault, che la compressione sia vera sorgente di calore, e che la dilatazione sia vera sorgente di raffreddamento.

E a questo si accorda benissimo ciò che accennerebbe in proposito la teorica della conservazione del lavoro, che stabilisce essere le forze del tutto invariabili in quanto alla loro essenza, quantunque capaci di tramutarsi l'una nell'altra. Nel comprimere l'aria noi spendiamo un certo lavoro meccanico; quando quell'aria si dilata, possiamo ricuperare quel lavoro medesimo; intanto vediamo che nella prima operazione l'aria si riscalda, nell'altra si raffredda. E v'ha dippiù: se misuriamo il riscaldamento, lo troveremo sempre proporzionato al lavoro speso nella compressione; e se misuriamo il raffreddamento, lo troveremo anch'esso proporzionato al lavoro meccanico svolto nella dilatazione. Èvvi dunque uno stretto legame fra il fenomeno termico e quello meccanico: si spende lavoro e comparisce l'equivalente calore; si ottiene lavoro, e dispare l'equivalente calore. E questa equivalenza forma il cardine della Teorica Dinamica del Calore, e vale non solamente per i fluidi ela-

stici, ma per ogni altro corpo, come accennammo nel § 28, dicendo della evaporazione.

Ci è del tutto impossibile comprimere un fluido elastico senza adoperar lavoro, e quindi ci è impossibile provare direttamente che la sorgente del calore nella compressione sia il lavoro speso: ma d'altra parte è facilissimo lasciar dilatare un fluido elastico senza fargli svolgere alcun lavoro, e con ciò possiam provare in modo incontrastabile, essere la produzion del lavoro cagione del raffreddamento. Eccone l'esperimento, fatto per la prima volta da Joule: ho qui due recipienti di ottone perfettamente chiusi, e capaci per altro di esser posti in comunicazioue per mezzo di questo robinetto; nel recipiente a sinistra ho compressa tanta aria da portare la tensione a 10 atmosfere; dall'altro ho cercato di estrarre l'aria atmosferica, sicchè vi abbiamo piccolissima tensione, la temperatura de' due recipienti è quella dell'aria che ne circonda, infatti immergendoli completamente nell'acqua di questo bagno, la temperatura mostrata da un termometro sensibilissimo, rimane qual era. La noto esattamente; quindi apro il robinetto di comunicazione: l'aria compressa si precipita sùbito dentro del recipiente vuoto, e la tensione deve cadere a circa metà della primitiva, poichè i recipienti hanno contenuto quasi eguale, e l'aria che dapprima era racchiusa in un solo, adesso si è sparsa in amendue. Guardo il termometro: nessun cangiamento; la temperatura è rimasta affatto ferma. Abbiamo qui dilatazione senza raffreddamento; dunque il raffreddamento non è cagionato dalla dilatazione. E la sola differenza tra l'esperienza nostra e l'espansione ordinaria si è, che nell'esperienza nostra lavoro meccanico non se ne svolse; niuno effetto venne comunicato all'esterno; infatti niuna cosa palesò essere avvenuto un cambiamento: all'incontro l'espansione ordinaria è accompagnata sempre da produzione di lavoro meccanico.

Questa esperienza prova dunque che la sola espansione

non costituisce sorgente di raffreddamento; e se ne può dedurre che quando questo avviene, si deve tutto all'essersi trasformato l'equivalente calore nel lavoro svolto. Conclusione evidente, per altro, quando si considera l'invariabilità del calore specifico.

Quello che si è detto per l'aria vale pure, a un dipresso, pel vapore. Cosicchè è stabilito potere avverarsi l'espansione in due maniere essenzialmente differenti: 1°, svolgendo lavoro meccanico, e allora il fluido in espansione si raffredda; 2°, senza svolgimento di lavoro meccanico, e allora il fluido rimane alla sua temperatura iniziale. Sorgente del lavoro reso nell'espansione è dunque il calore contenuto nel fluido espandentesi. E ne consèguita che quando i fluidi elastici si dilatano superando una resistenza, non possono seguire la legge di Mariotte: invece si dilatano meno di quanto vorrebbe questa legge, e appunto per la perdita del calore che si trasforma; nel vapore questo fenomeno è più sensibile, poichè esso non può patire alcuna perdita di calore senza condensarsi in parte. Perciò quando si dilata il vapore in un vaso trasparente, si osserva la formazione di una nube nel seno della massa fluida.

Noi abbiamo fin ora considerato il fenomeno nel suo tutto insieme; abbiamo detto in modo generale che quando lavoro non se ne svolge, calore non ne sparisce; ed è verissimo: se non che il fenomeno consta quasi sempre di due parti separate, le quali, se spesso si confondono e si bilanciano a vicenda, talvolta rimangono pur divise, e conviene tenerne conto separatamente. Dicemmo che nell'esperienza di Joule lavoro non se ne svolse, e quindi che calore non ne scomparve: ma se esaminiamo la cosa più davvicino, vedremo essere avvenuta una doppia trasformazione, e che il rimaner costante la quantità di calore significa essersi bilanciate affatto le due fasi del fenomeno. Quando l'aria compressa si riversò nel recipiente vuoto, nell'atto medesimo compì un lavoro mec-

canico: diede a sè medesima quella velocità, e sappiamo che tutti i corpi pigliano in sè un certo lavoro, quando si imprime loro un movimento; dunque l'aria che si andava dilatando e che si spingeva nel tempo medesimo in verso il recipiente vuoto, si dovette raffreddare; vi dovette giungere più scarsa di calore e più ricca di mòto. Ma nell'altro recipiente avveniva il fenomeno inverso: le particelle di aria che giungevano, cariche, diciamo così, di velocità e di forza, andavano ad urtare sulle pareti; il loro moto veniva spento, e ne doveva nascere l'equivalente calore. Ora è chiaro che il raffreddamento del primo vaso dovette essere eguale affatto al riscaldamento del secondo, poichè quest'ultimo fenomeno proviene appunto dalla forza data alle particelle nel raffreddamento subìto dall'aria dilatantesi: e l'esperienza prova essere tale il fatto.

Vediamo dunque che allorquando fugge da un recipiente un fluido compresso, accade il raffreddarsi del fluido in espansione; e in oltre vediamo che il movimento di che sono animate le particelle uscite, equivale appunto al calore perduto dal fluido espandentesi. Cosicchè se viene spento tutto il moto acquistato, il fluido uscito si riscalda tanto da compensare il raffreddamento che subisce nell'espandersi: ed è il caso dell'esperienza di Joule. Se invece il moto non viene spento, il calore rimane trasformato, e il fluido rimane freddo. Così quando si lascia sfuggire nell'atmosfera l'aria compressa in un recipiente, accade forte raffredamento dell'aria espandentesi. All'incontro se si lascia sfuggire una corrente di vapore da una caldaja, avviene soprariscaldamento del vapore che esce: poichè il fluido che si va presentando all'orifizio, ha sempre la temperatura generale della caldaja, perchè la massa di vapore in contatto con l'acqua riscaldata di continuo, non diminuisce di tensione in modo sensibile, o a meglio dire, la sua espansione e il suo raffreddamento sono compensati sempre, sicchè il

vapore esce caldo, e in oltre animato di grande velocità; lo spegnersi di una parte di questa, per l'attrito del becco ecc., dà luogo a svolgimento di calore che soprariscalda il vapore effluente.

Digitized by Google

APPENDICE ALLA LEZIONE VI.

Compendio delle Lezioni sulla Forza Elastica e il Vapor d'Acqua.

1. Il vapore opera nelle macchine a vapore per la sua forza elastica, che tende a fargli assumere un volume sempre maggiore. Ordinariamente il lavoro è preso dal vapore mediante uno stantuffo, mobile in un cilindro, e che viene connesso in varie guise all'ingegno esteriore della macchina; esso si muove in virtù della differenza delle spinte sulle due faccie, prodotta dalla varia tensione del vapore. Quando questo, dopo di aver operato, scappa nell'atmosfera, conservando tuttavia il suo stato aeriforme, la macchina dicesi *senza condensazione*; quando invece egli è condotto in un recipiente chiuso in cui vien condensato, con minoramento della sua forza elastica, la macchina vien chiamata *a condensazione*. Nell'una maniera e nell'altra può ottenersi il moto, o facendo operare il vapore sopra un lato solo dello stantuffo, o sopra tuttadue: nel primo caso la macchina è *a semplice effetto*; e *a doppio effetto* nell'altro.

2. Essendo tale il modo d'operare del vapore, ci è necessario pria di tutto aver conoscenza della forza elastica in generale, e delle sue leggi nel vapore; della densità di questo, del suo costo in calore, e del modo in cui si comporta nel dar fuori il lavoro meccanico.

3. La forza elastica, ossia tensione, è la tendenza che hanno i corpi nello stato aeriforme ad allargare i confini da cui sono limitati; e i fluidi elastici, essendo dotati di questa forza, devono necessariamente esser confinati, sia da pareti sia da forze coercitive.

4. Si suppone che la tensione derivi dalle percosse delle molecole animate del moto del calore; infatti la tensione

diminuisce o cresce, ne' gas perfetti, precisamente come diminuisce o cresce il calore contenuto nel fluido.

5. La forza elastica aumenta con la diminuzione dello spazio, e diminuisce quando lo spazio aumenta; Mariotte trovò che la tensione varia insieme con la densità, nel medesimo rapporto, a temperatura eguale; e quindi questa legge dicesi di Mariotte. Le dottrine moderne insegnano che essa sarebbe affatto vera per i gas perfetti, per quelli cioè le cui molecole fossero affatto prive di attrazione vicendevole; l'aria si approssima assai a questa condizione.

La proprietà della forza elastica non è esclusiva di certi corpi: dipende unicamente dalle circostanze termiche; il calore rallenta le attrazioni fra le particelle, dando loro moto, svincolandole le une delle altre; cosicchè qualunque corpo diverrebbe aeriforme se riscaldato abbastanza.

6. I *manometri* servono a misurare e ad indicare il valore della forza elastica, paragonandola ad un'altra forza di di cui si conosce il valore: sia una colonna di mercurio più o meno alta, sia la varia tensione di una molla che assuma posizioni diverse; sia l'elasticità d'una massa di aria racchiusa. E da queste tre maniere di stimare la forza, vengono le tre sorte di manometro comunemente adoperate: a colonna mercuriale; a molla, ossia metallico; e ad aria compressa.

7. Il manometro a colonna di mercurio è poco usato in pratica, per essere fragile e incomodo; solo nelle caldaje a bassa pressione ne troviamo una specie detta a sifone.

8. Nel manometro a disco increspato la pressione del fluido incurva una molla, che ha appunto la forma di disco, increspato circolarmente; il moto di esso è accresciuto e reso sensibile mediante un settore dentato, che spinge un rocchetto, sull'albero della lancetta.

9. È preferibile il manometro di Bourdon, in cui la molla è costituita da un tubo di ottone, a sezione trasversale ellittica, il quale si svolge per la pressione del fluido che lo riempie; il moto di questo tubo è maggiore di quello del disco, sicchè non occorre il meccanismo moltiplicatore; basta legare l'estremità del tubo a un braccio fisso sull'albero della lancetta; questo manometro è il più usitato di tutti.

10. Il manometro ad aria compressa è basato sulla legge di Mariotte; ed ha molti vizj che non lo fanno adoperare in pratica.

11. Le tensioni si esprimono, o in atmosfere e frazioni di atmosfera; o in centimetri o millimetri di mercurio; o in chilogrammi sul centimetro quadrato; o in libbre sul pollice quadrato; o in pollici di mercurio. L'atmosfera, in media, equivale a 760 millimetri di mercurio; a chilogramma 1,03 sul centimetro quadrato; a libbre 14, 7 sul pollice quadrato; a 30 pollici di mercurio (esattamente 29, 922). Mediante queste cifre è facile tradurre una data forza elastica da una in altra maniera d'espressione.

12. L'acqua si può mandare in vapore o per evaporazione o per ebollizione: nella prima maniera il fenomeno avviene alla superficie solamente; nell'altra ha luogo nel seno del liquido stesso, per calore applicato alle pareti, ovvero per calore già posseduto dal liquido. In generale il passaggio in vapore si dice vaporizzazione.

13. Il vapor d'acqua ha tensione sensibile alle temperature ordinarie dell'atmosfera; e si dimostra facendo penetrare nella camera barometrica alquanta acqua, che vi si vaporizza e deprime la colonna. L'evaporazione esige calore come viene mostrato dal *frigofero* di Wollaston, in cui vien congelata l'acqua per la perdita di calore subita nell'evaporazione.

14. Se si riscalda il vapore direttamente, senza che il calore passi per l'acqua, esso si *soprariscalda*, vuol dire acquista una temperatura più alta di quella rispondente alla tensione, e non segue più le leggi che gli son proprie.

15. La temperatura del vapore risponde sempre alla sua tensione; sicchè non possiamo nè comprimerlo nè espanderlo, a temperatura ferma: nel primo caso si condensa in parte, si soprariscalda nell'altro. Varj esperimentatori stabilirono la corrispondenza fra la temperatura e la tensione; le cifre ottenute erano tuttavia discrepanti; e Regnault ripetè l'esperimento con somma esattezza; esso è descritto più innanzi (§22).

16. Anche alcuni solidi dànno vapori; ma in molti casi sembra che tali emanazioni sieno composte di particelle tanto

lontane, da non aver nesso alcuno fra di loro, da non urtarsi, e quindi da non poter dare pressione sensibile.

17. Dall' esser più forte la tensione del vapore a temperatura più alta conséguita, che fra due vasi comunicanti che contengano vapore a diversa tensione, vi sarà flusso di fluido diretto dal vaso più caldo al più freddo, fino a che la tensione generale non cade a quella rispondente alla temperatura più bassa; e tale abbassamento di tensione sarà tanto più celere, quanto più costante sarà mantenuta la temperatura del recipiente freddo.

18. Ogni qualvolta avviene vaporizzazione, si ha una perdita apparente di calore; questo fenomeno si può spiegare così: le molecole di cui consta l' acqua, si attraggono con una certa forza; nel vapore sono allontanate assaissimo, e ad allontanarle è mestieri adoperar forza da vincere l'attrazione; questa forza, o meglio, questo lavoro meccanico, venne fornito dal calore; da ciò trasformazione di una parte di esso in tale lavoro meccanico. E infatti il calore trasformato in lavoro interno (così dicono la separazione delle molecole attraentisi), diminuisce coll'aumento della forza elastica, vuol dire col volume del vapore: se si potesso vaporizzare l'acqua senza lasciar aumentare il suo volume, le particelle non sarebbero allontanate, e quindi non vi sarebbe trasformazione, e tutto il calore rimarrebbe qual temperatura nel vapore prodotto. Nella condensazione del vapore, il lavoro interno ritorna alla forma di calore, poichè le molecole si riavvicinano, spinte dalla forza medesima che si dovette superare nell'allontanarle.

19. L'ebollizione ha luogo quando la temperatura del liquido è tale, che il vapore svolto abbia forza elastica equivalente, o appena superiore, a quella sostenuta dal liquido; allora, infatti, nulla osta a che il vapore si svolga dentro del liquido medesimo, e ne esca fuori, dato che vi sia il calore necessario.

20. La temperatura d'ebollizione si abbassa dunque con la pressione; nel *bollitore* di Franklin basta il calore della mano a far bollire l'acqua, a cagione della piccola forza elastica del vapore contenuto nello strumento.

21. E in una boccia contenente vapore ed acqua calda, si può provocare l'ebollizione raffreddando il vapore, che in conseguenza diminuisce d'elasticità, e lascia l'acqua comparativamente soprariscaldata.

22. Regnault, a fine di determinare la corrispondenza fra la temperatura e la tensione, adoperò un congegno in cui si faceva bollire alquanta acqua sotto un' atmosfera chiusa artificiale, la cui pressione poteva aumentarsi o diminuirsi a piacere, mediante una tromba premente o una macchina pneumatica; il vapore prodotto si condensava in un tubo inclinato e circondato di acqua fredda, e ritornava nella caldaja. Varj termometri s'immergevano nel vapore, altri nell'acqua; ed erano ben difesi dalla pressione del fluido, che forse avrebbe potuto, comprimendo i tubi, falsare le indicazioni. La forza elastica dell'atmosfera chiusa, e quindi del vapore, era misurata esattamente per mezzo di un manometro a colonna di mercurio.

23. La filosofia dell'ebollizione si comprende facilmente: è necessaria una certa temperatura, dipendente dalla pressione, perchè il vapore non può esistere nel liquido se non ha forza elastica sufficiente a sostenere la pressione, e sappiamo esservi un nesso per cui la forza elastica dipende appunto dalla temperatura; e da ciò pure si scorge perchè la temperatura d' ebollizione si abbassa con l'abbassarsi della pressione; e perchè tale temperatura è ferma per una pressione data: una volta che il vapore ha forza bastevole a farsi strada in mezzo all'acqua, niuna cosa gl'impedisce di scappar via, portando seco tutto il calore che si presta all'acqua bollente. Ne consèguita essere estremamente pericoloso esporre i liquidi al calore in recipienti chiusi: poichè l' esperienza mostra che la tensione aumenta rapidamente con la temperatura, e non ne conosciamo alcun limite.

24. I sali disciolti nell'acqua, rendendo più intensa la forza che lega le particelle, innalzano la temperatura d'ebollizione: rendono necessaria forza elastica maggiore a staccare le molecole.

25. Quantunque le soluzioni saline bollano a temperature più elevate che non l'acqua, pure la temperatura del vapore

Digitized by Google

da esse svolto, risponde alla pressione; e non ostante che tale vapore passi nel mezzo del liquido bollente più caldo, pure non subisce soprariscaldamento. La spiegazione di questo fatto singolare non è ancora conosciuta.

26. Quando si vaporizza l'acqua nelle circostanze ordinarie, il calore apprestatole si divide in due porzioni ben distinte: l'una rimane nel fluido che si svolge; l'altra sparisce, si converte in lavoro interno; si spende, infatti, nel distruggere l'intreccio molecolare. Esponendo un dato peso di acqua a 0° al calore d'una fiamma costante, si osserva che se a portarla all' ebollizione ci vorrà il tempo 1, a mandarla tutta in vapore ci vorrà in oltre il tempo 5 1/3; ciò mostra che il calore che rimane intatto è in quantità assai più piccola di quello che si trasforma: poichè il calore prestato dopo che l'acqua già bolle si converte tutto, ed è 5 1/3 volte più di quello che riscaldò l'acqua. La somma di queste due quantità di calore dicesi il calore di vaporizzamento, ovvero calore totale. Vi sono varie maniere di misurarlo; Regnault, adoperando il metodo della condensazione, trovò che sotto la pressione atmosferica il calore totale, per un chilogramma, è 637 calorie; di cui 100 sono sensibili qual temperatura, e le altre 537 sono trasformate in lavoro interno; nel linguaggio dell'antica fisica la prima quantità si diceva *calore sensibile*, e *calore latente* l'altra.

27. Misurando il calore di vaporizzamento sotto varie pressioni, Regnault lo trovò quasi costante; ma il calore sensibile, la temperatura, aumenta con la pressione; e ne viene che il calore trasformato, o latente, diminuisce a un dipresso nel medesimo rapporto. Sicchè per gli usi della pratica possiam dire, che a vaporizzare un dato peso di acqua, partendo da una data temperatura, occorre sempre la medesima quantità di calore, siasi qualsivoglia la pressione sotto cui si genera il vapore. E similmente, che a condensare un dato peso di vapore, e ridurlo in acqua ad una data temperatura, occorrerà sempre una stessa quantità di acqua fredda; siasi qualsivoglia la tensione del vapore da condensarsi.

28. L'esperimento prova una equivalenza e una reciproca convertibilità fra il calore e il lavoro meccanico. Quando

nell'attrito si spendono, e si perdono apparentemente, 424 chilogrammetri di lavoro, comparisce una caloria di calore; e molti fatti confermano essere del tutto equivalenti queste due quantità, e convertibili l'una nell'altra. Sicchè lo svolgimento, per via di calore, di 1 chilogrammetro di lavoro, costa $\frac{1}{424}$ di caloria al fluido o altro corpo operante. Stabilita questa equivalenza possiamo, misurando il calore, valutare il lavoro meccanico speso nella separazione delle molecole dell' acqua, quando questa si vaporizza. E risulta dal còmputo, che nella formazione di un chilogramma di vapore sotto la pressione atmosferica, l'atto di separare le particelle equivale al sollevamento di un peso di 27 tonnellate all' altezza di 10 metri! E quando questo chilogramma di vapore si condensa, tutto quel lavoro torna di nuovo allo stato di calore, cioè avviene in fatti il fenomeno stesso della caduta di quel masso di 27 tonnellate dall'altezza di 10 metri; e tutto questo nella quieta condensazione di quel vapore che forma un sol litro di acqua.

29. Evaporando un volume conosciuto di acqua, e misurando la mole del vapore che ne viene, sotto una data pressione, si ha il volume specifico e la densità del vapore sotto quella pressione medesima. L'esperimento mostra che sotto la pressione atmosferica media, il volume 1 di acqua a 0° dà il volume 1684 di vapore. Siccome l'aria in rapporto all'acqua pesa $\frac{1}{820}$, e il vapore della medesima pressione pesa $\frac{1}{1684}$, così quest' ultimo galleggia agevolmente nell' atmosfera.

30. Come tutti i fluidi elastici, il vapore si restringe con l'aumento di pressione, e si dilata quando questa diminuisce. Mancano buoni esperimenti che mostrino il volume assunto sotto date pressioni, ma attenendoci a quelli fatti da Fairbairn e Tate, possiam stabilire che il vapor d'acqua segue a un dipresso la legge di Mariotte, senza la condizione della temperatura, dato cioè che sotto ogni pressione il vapore abbia la temperatura propria alla pressione stessa. Così a 2

atmosfere, con la temperatura 120°,6, avrebbe il volume specifico $\frac{1684}{2} = 842$; a 3 atmosfere, temperatura 133°,9, il volume specifico sarebbe $\frac{1684}{3} = 561\ \frac{1}{3}$; e così via. Non do questa legge per esatta, ma per gli usi della pratica può bastare; ed è da applicarsi solamente a quei gradi di pressione che d'ordinario si adoperano nelle macchine.

31. L' espansione de' fluidi elastici può accadere in due guise essenzialmente diverse: operando lavoro; e non lo operando. Nel primo caso il fluido perde una quantità di calore equivalente al lavoro svolto: se sia aria, il cui calore specifico è costante sotto varia pressione, si raffredda; se vapore, si condensa in parte, per la costanza del calor totale. Quando lavoro non se ne svolge, il fluido, se aria non patisce raffreddamento; se vapore non perde nemmeno calore, ma si abbassa la sua temperatura con l'abbassarsi della pressione; in una parola conserva intatte le sue proprietà e le sue condizioni termiche, se non che la sua temperatura si abbassa nell' espansione, perchè una certa quantità del calore contenuto si trasforma nel lavoro interno di separare le particelle alquanto attraentisi. Quando da un vaso esce una corrente di fluido, spinta dall'elasticità di quello rimanente nel vaso stesso, avviene che tale fluido per l'attrito delle pareti, o per la sua percossa sopra un qualche ostacolo, perde movimento e acquista calore. Così una corrente vaporosa si soprariscalda nell'uscire a forza da una caldaja, o nello spingersi innanzi in meati stretti; sempre, tuttavia, a spese del proprio moto di traslazione, e quindi del calore che si spense nel darle quel movimento stesso: accade dunque, nella corrente che esce, soprariscaldamento; nel vapore della caldaja, equivalente condensazione. La quale per altro viene compensata di continuo dal fuoco.

Digitized by Google

PARTE II.

Storia della Macchina a Vapore.

LEZIONE VII.

32. Erone d' Alessandria; 120 A. C. — **33.** Giovan Battista Porta; 1601. — **34.** Salamone de Caus; 1615. **35.** — Branca; 1629. — **36.** Ottone de Guericke; 1654. — **37.** Marchese di Worcester; 1663. — **38.** Huyghens; 16.. — **39.** Papin; 1695. — **40.** Savary; 1697.

Quantunque fino ad epoca recente la storia dell' applicazione del vapore qual forza motrice mostri lentissimo progresso, e i mezzi posti in uso da'nostri antenati sieno stati per lo più essenzialmente diversi da quelli che si adoperano oggidì; pure, perchè cotesto lento svilupparsi della grande macchina seguì ognora una via progressiva, sì che ogni passo sembra averla avvicinata sempre più allo stato attuale di comparativa eccellenza, e perchè mostra egualmente come la felice applicazione delle forze naturali vada insieme con la giusta conoscenza delle loro leggi, io credo che alcun cenno di tale storia possa formare utile introduzione allo studio pratico della macchina a vapore moderna.

32. *Erone d'Alessandria*; *120 A. C.* — Le prime traccie conosciute della storia del vapore s'incontrano nella « Spiritalia » di Erone d'Alessandria, opera scritta circa 120 anni avanti l' èra volgare. Fra altri artifizj ingegnosissimi, ma per lo più privi di scopo pratico, troviamo i seguenti: — L'Eolipila a Reazione, fig. 16, notevole per la sua estrema semplicità, e perchè costituisce non di

meno una vera macchina a rotazione. Essa opera in virtù dell'inerzia dell'aria ambiente e delle particelle di vapore già uscite dai becchi: infatti la corrente che va uscendo da questi, incontra resistenza, appunto per l'inerzia, e di conseguenza reagisce; e preme la parete del tubo rimpetto l'orifizio d'uscita; essendo gli orifizj rivolti in modo che la pressione di tutti e due tende a far volgere la sfera nel medesimo verso, ne segue che essa concepisce un rapido modo di rotazione.

In un altro congegno di Erone, mostrato nella fig. 17, la percossa delle molecole vaporose sull'esterno di una sfera cava, sostiene questa in aria, per essere la corrente rivolta solo sulla sua metà inferiore.

Ma la più importante delle macchine d'Erone, quantunque piegata a fini ignobili, è quella rappresentataci dalla fig. 18: acceso il fuoco sopra un altare, due simulacri, che stanno accanto ad esso, vi versano su un liquido, come in mistico rito, quasi olocausto. La struttura interna dell'ara e della sua base, nascosta certamente al volgo da' bugiardi ministri, ci spiega il modo in cui veniva operato il miracolo. Il calore del fuoco, comunicandosi, dopo un certo tempo, all'acqua in *a*, ne svolgeva vapore, il quale, insieme all'aria contenuta in tutto il vuoto della macchina, operando pure in *b* per mezzo del largo tubo *c*, spingeva su il liquido previamente posto nella base, e lo faceva salire pe' tubi *d*, *e*, i quali poi, artificiosamente condotti nel corpo delle statue, andavano a terminare nelle mani di queste, ovvero in vasi che tenevano in alto. Così dopo che i sacerdoti avevan preparato la cerimonia con accendere il fuoco, si allontanavano, e i simulacri compivano il rito; che si attribuiva ad intervento soprannaturale dall'ignorante popolo. Questo artifizio fa fede tuttavia di notevole ingegno, e di una conoscenza di fatto della forza elastica del vapore e dell'aria calda; e sembra probabile che ove si fosse pensato alle utili applicazioni, invece che a'trastulli e all'inganno, avremmo dovuto re-

gistrare in questo luogo ben altre prove dell'abilità degli antichi filosofi.

33. *Giovan Battista Porta*; 1601. — Dall'epoca di Erone sino alla scoperta della stampa, vuol dire per ben 15 secoli, le scienze naturali ricevettero pochissima attenzione, e il primo cenno moderno di studio sul vapore, lo troviamo in un'opera di Giovan Battista Porta (1), celebre Napolitano, stampata nel 1601. Le idee del Porta sembrano ricavate, o almeno suggerite, dalle opere di Erone, messe alla luce dalla stampa un mezzo secolo prima. Il Porta descrive un modo di misurare la quantità, ossia il volume, di vapore fornito da un dato peso di acqua, il quale, quantunque assai rozzo, e non da adoperarsi ai giorni d' oggi, pure essendo probabilmente la prima esperienza fisica intorno al vapore, merita di essere ricordato: —Il lungo collo della boccia *a*, fig. 19, penetra sino al sopra della scatola *b*, adattata al detto collo; il tubo *c* scende sino al fondo della scatola: questa si riempisce di acqua, si mette una certa quantità del medesimo liquido nel fiasco, e lo si pone sul fuoco; allora l'acqua si scalda, entra in ebollizione, il vapore svolto preme sulla superficie dell'acqua in *b*, e la spinge ad uscire pel tubo *c*. Misurando la quantità dell' acqua effluita, si conosce il volume del vapore, il quale difatto riempie il medesimo spazio dapprima occupato dall'acqua; misurando l' acqua rimasta nella boccia, si trova qual peso di essa risponde al dato volume di vapore. I vizj del metodo sono ovvj: il principale essendo che una porzione notevole del vapore verrebbe condensata per il contatto dell'acqua e delle pareti della scatola; ma d'altra parte il congegno costituisce una vera macchina elevatoria, essendo chiaro che allungando *c* si otterrebbe un innalzamento indefinito dell'acqua in *b*.

34. *Salamone de Caus*; 1615. — In un'opera stampata

(1) « *J. B. Portae Pneumaticorum libri tres. Neapoli*, 1601. 4. »

nel 1615 (1), Salamone de Caus, francese, descrive una fontana nella quale veniva elevato uno zampillo di acqua per la pressione del vapore. La fig. 20 rappresenta il congegno del De Caus: — Nella caldaja sferica *a*, viene introdotta una certa quantità di acqua mediante il robinetto *b;* poscia, chiudendo questo, si pone sul fuoco la caldaja; il vapore accumulandosi nello spazio *c*, preme fortemente la superficie dell'acqua, la quale trovando aperto il becco *d*, s'innalza nell'atmosfera, e ad un'altezza rispondente alla differenza fra la pressione del vapore e quella dell'atmosfera.

35. *Branca;* 1629. — Nel 1629, Branca, architetto Romano, descrisse in un suo libro di Macchine (2), un meccanismo mosso dall'impulso del vapor d' acqua: egli dirigeva uno zampillo di vapore contro le palette di una ruota, e così otteneva un moto di rotazione che veniva trasmesso poscia a varj ordigni meccanici. Sembra che Branca sia stato il primo a concepire l'idea di una utile applicazione della forza del vapore; ma siccome egli adoperò solamente l'impulso, la percossa, e non mai la pressione elastica, così la forza ottenuta dovette essere assai limitata in quantità.

36. *Ottone de Guericke*; 1654.—Sappiamo come nel 1630 Torricelli, mediante il barometro, dimostrasse la pressione fatta dall'atmosfera; pressione dalla quale trassero gran partito i dotti che lavorarono all' invenzione della macchina a vapore. Ma più che dal barometro, i fenomeni della pressione atmosferica furon resi familiari da una

(1) « LES RAISONS DES FORCES MOUVANTES, *avec diverses machines tant utiles que plaisantes; auxquelles sont adjointes plusieurs desseins de grottes et fontaines, augmemtées de plusieurs figures. Francfort*, 1615, *fol.* »

(2) « LE MACHINE. *Volume nuovo et di molto artificio da fare effetti maravigliosi si tanto Spiritali quanto di Animale operatione: arrichito di bellissime figure con le dichiarationi a ciascuna di esse in lingua volgare et latina, del Sig. Giovanni Branca, cittadino Romano, ingegniero et architetto della sta. casa di Loreto. In Roma*, M. DC. XXIX. »

serie di esperimenti condotti da Ottone de Guericke, borgomastro di Magdeburgo, nel 1654 (1), mediante la tromba da estrarre aria, detta Macchina Pneumatica, da lui medesimo inventata poca prima: cenneremo alcuni di questi esperimenti. Due emisferi di ottone erano adattati in guisa l'uno sull'altro da formare, unendoli, una sfera cava dalla quale si poteva estrarre l'aria mediante la tromba: mentre la sfera così composta conteneva l'aria atmosferica, era facilissimo separare i due emisferi l'uno dall'altro; ma una volta estratta l'aria dall'interno, l'atmosfera stringeva insieme i due emisferi, di modo che era necessaria una grande forza a strapparli.

Ad un cilindro cavo venne perfettamente aggiustato uno stantuffo: il cilindro era aperto al di sopra, chiuso al di sotto; al fondo era fissato un robinetto che serviva a far comunicare lo spazio sotto dello stantuffo o colla tromba d'estrazione, o coll'atmosfera. Quando il robinetto apriva il passaggio all'atmosfera, era facilissimo sollevare lo stantuffo, poichè esso allora subiva da ambo i lati la pressione atmosferica; ma se si estraeva l'aria dal sotto del cilindro, la pressione dell'aria esterna, operando solamente sul sopra dello stantuffo, rendeva necessario un grande impulso a poterlo sollevare, anche d'una piccola quantità.

La macchina medesima venne poscia applicata all'elevazione de' pesi, fig. 21: allo stantuffo era attaccata la fune *a a*, la quale, passando sopra le carrucole *b b*, andava a legarsi al piattello *c*; su questo eran posti pesi equivalenti a forse 3|4 di chilogramma per ogni centimetro quadrato della superficie dello stantuffo. Quando questo era al sopra della sua gita, il piattello coi pesi posava sul terreno. Estraendo l'aria dal cilindro, mediante

(1) Questi esperimenti furon descritti dall'Autore medesimo in una sua opera posteriore intitolata « *Ottonis Guericke Experimenta Nova Magdeburgica de Vacuo Spatio. Aeris Pondere,* » etc. *Amstelodami*, 1672, *fol.*

la tromba, il peso dell'atmosfera, non più bilanciato dalla pressione da sotto, costringeva lo stantuffo a discendere, innalzando i pesi nel tempo medesimo. Supponendo il diametro dello stantuffo 30 centimetri, il valore dei pesi sarebbe: — $30^2 \times 0,7854 \times 3/4 = 530$, ch., 145, (1). Se il vuoto si avesse potuto avere perfetto, il peso sarebbe stato equivalente ad 1 chilogramma per ogni centimetro quadrato, epperò: 706, ch., 86.

37. *Marchese di Worcester*; 1663. — Nel 1663 il Marchese di Worcester in Inghilterra stampava la descrizione di una macchina a vapore per l'elevazione dell'acqua (2); quantunque sia impossibile formarsi un'idea chiara dei mezzi adoperati dal Worcester, sembra certo che egli abbia ottenuto risultamenti importanti, e che era bene informato della potenza del vapore; pare infatti che egli sia stato il primo a prevedere le universali applicazioni del vapore, poichè appella il suo congegno « *la Macchina Semionnipossente.* »

38. *Huyghens*; 16.... — Nel mentre, gli esperimenti di Ottone de Guericke facevano grande impressione, molti si rivolsero a cercare maniere di formare un vuoto senza l'applicazione di lavoro; essendo che scorgevano chiaramente che una volta ottenuto questo, sarebbe stato facile ricavarne forza utile mediante la pressione atmosferica.

Huyghens proponeva di ottenere un vuoto parziale

(1) Il quadrato del diametro d'un circolo moltiplicato per la frazione 0,7854 dà l'area approssimativa di tale circolo.

(2) « *A Century of the Names and Scantlings of such Inventions as at present I can call my mind to have tried and perfected, which (my former notes being lost) have, at the instance of a powerful friend, endeavoured now, in the year 1655, to set these down in such a way as may sufficiently instruct me to put any of them into practice.* » *London* 1663, *dodicesima.* Libro che sembra dimostrare l'indole fantastica e bisbetica del Marchese, quanto il suo ingegno meccanico; e detto da Walpole (spirito abbastanza bizzarro anch'egli): *an amazing pice of folly;* certamente non senza ingiustizia.

mediante l'esplosione della polvere da cannone; la fig. 22 può dare un'idea del suo proponimento: — Nel cilindro *a* era aggiustato lo stantuffo *b;* alla parte superiore del cilindro eran poste le valvole *c c* libere di aprirsi dall'interno all' esterno; dando fuoco ad una piccola quantità di polvere posta nel piattello *d*, una parte dell'aria contenuta nel cilindro uscirebbe per le valvole *c*, in virtù della dilatazione per il calore prodotto; raffreddandosi poi i gas rimasti, la loro pressione scemerebbe, e per conseguenza diverrebbe minore di quella atmosferica; questa, quindi, premendo sul sopra dello stantuffo lo farebbe scendere con qualche forza. Aprendo una delle valvole, lo stantuffo si potrebbe condurre nuovamente al sopra del cilindro; ed allora si ripeterebbe l'operazione.

39. *Papin*; 1695. — Papin, celebre scienziato Francese, propose, nel 1695, di fare il vuoto mediante il vapor d'acqua: metteva una piccola quantità di liquido nel fondo del cilindro, fig. 23, abbassava lo stantuffo fino a breve distanza dall'acqua, lasciando sfuggire l'aria per la valvola *a;* allora ponendo il cilindro sul fuoco, il vapore sviluppato dall'acqua faceva salire lo stantuffo; giunto questo all'estremità del suo cammino, si toglieva dal fuoco il cilindro, e allora pel raffreddamento esterno dell'aria, e per irradiazione, il vapore di che era pieno si condensava; lo spazio perciò rimaneva quasi che vuoto, e la pressione atmosferica spingeva fortemente giù lo stantuffo. Si rimetteva sul fuoco il cilindro ; si tornava a riempire di vapore ; sollevato lo stantuffo si toglieva nuovamente ; avveniva un'altra volta la condensazione, e così si otteneva un secondo colpo di stantuffo. L'operazione di questo ingegno sarebbe estremamente lenta, e costosa, poichè non solo si avrebbe a riscaldare e vaporizzare l'acqua, ma anche il cilindro assorbirebbe calore in ogni colpo. Ed essendo la condensazione dipendente solo dal freddo dell' aria e dall'irradiazione, si comprende benissimo come bisognerebbe di molto tempo per avere un colpo di stantuffo.

Digitized by Google

Tuttavia sembra assicurato che Papin non solamente propose ma eseguì questa sua macchina (1), e che fu costretto ad abbandonarla per circostanze sue personali: egli era ugonotto, ed ebbe la sua parte di persecuzione e di sventura come tale. In ogni modo mi pare manifesto, che, ove egli abbia veramente costruito e fatto lavorare una macchina, dovette adoperare una caldaja separata: tanto più che qualche tempo dopo faceva uso di eccellenti caldaje per la sua macchina elevatoria; della quale per altro non facciamo parola, poichè, con ogni rispetto all'ingegno veramente chiaro di Papin, bisogna pur dire che tale macchina, costruita dopo di quella di Savary, non è altro che una cattiva copia di questa.

40. *Savary*; 1697. — Savary, in Inghilterra nel 1697, inventò la sua macchina per l'elevazione dell'acqua; la quale, essendo stata la prima macchina a vapore adoperata nell'industria, merita la nostra attenzione. Fig. 24; la caldaja *a* riceve il calore del fuoco, dal sotto e dai fianchi, mediante un camino che la circonda, e per cui passano i gas prima di sboccare nella canna fumaria; sul coperchio della caldaja è posta la valvola di sicurezza *b*, adoperata prima da Papin nel suo *digestore*, la quale impedisce che la tensione s'innalzi al di là di quella stabilita. La comunicazione tra la caldaja e il recipiente *c*, può venire aperta o chiusa mediante il robinetto *d*; il detto recipiente comunica al basso col tubo *e f*, nel quale sono due valvole *g*, *h*, che aprono tutte e due dal basso all'alto; l'estremità inferiore del tubo pesca nell'acqua che si vuole sollevare, l'altra estremità va a sboccare nel punto in cui si vuol condurre l'acqua medesima; un piccolo recipiente *i* contiene acqua fredda, di modo che aprendo il robinetto *l*, il recipiente *c* viene innaffiato esternamente. L'operare della macchina è come segue: — Acceso il fuoco sotto la caldaja, e giunta la tensione al

(1) *Balfour Stewart, Elementary Treatiseon Heat*, 1866, p. 324.

grado stabilito, il vapore solleva la valvola di sicurezza e secondo che si va formando scappa via per l'orifizio: allora si apre il robinetto *d*, e il vapore, avendo una pressione maggiore di quella atmosferica, penetra in *c*, e poi esce pel tubo *f*, sollevando la valvola *h*; s'intende che prima d'avvenire questo, una parte del vapore dovette condensarsi, riscaldando il recipiente e il tubo; l'aria che si trovava nel recipiente venne scacciata dal vapore, di modo che esso recipiente non contiene altro che vapore. Allora si chiude il robinetto *d*, e si apre *l*; la pioggia d'acqua fredda che viene a bagnare il recipiente lo raffredda, e di conseguenza raffredda anche il vapore che si contiene in esso; sappiamo che la temperatura di una massa di vapore non può abbassarsi senza che si condensi una porzione del fluido, tanto da ridurre la tensione a quella rispondente alla temperatura più bassa, (§ 17); così ridotta la temperatura di *c*, a quella atmosferica, la tensione del vapore scende assai al di sotto di quella dell'atmosfera; vi è in *c*, dunque, un vuoto parziale. La valvola *h* rimane chiusa, perchè l'aria esterna la preme dall'alto in basso; la valvola *g* invece, cede alla pressione sottostante, ed una parte dell'aria contenuta in *e* passa in *c*; nel tempo medesimo, essendo resa la pressione in *e* minore di quella atmosferica, l'acqua vi s'innalza ad un'altezza rispondente appunto alla differenza. Chiuso *l* si apre nuovamente *d*; allora il vapopore della caldaja, penetrando un'altra volta in *c*, scaccia l'aria entratavi dal tubo d'aspirazione *e*; nel mentre, essendosi chiusa la valvola *g* per l'eccesso della pressione soprastante, l'acqua nel tubo *e* rimane al medesimo livello; ripetendo la pioggia sul recipiente, dietro d'aver chiuso *d*, si ottiene un'ulteriore estrazione di aria dal tubo, e l'acqua vi sale ancora più; se l'aria sia stata bene espulsa da *c*, l'acqua riempirà pure in parte questo recipiente; ed allora, aprendo il robinetto *d*, l'acqua sarà costretta per la pressione del vapore, ad uscire pel tubo *f*,

poichè g ne impedisce il ritorno in giù. Quando tutta l'acqua è stata espulsa, si ritorna a condensare il vapore, ed allora lo spazio in c, non contenendo più aria, sarà nuovamente riempito d'acqua che piglia il posto del vapore condensato (1). Alternando così l'intromissione e la condensazione del vapore, si ottiene l'innalzamento continuato dell'acqua. È chiaro che la distanza verticale tra la macchina e l'acqua da elevarsi, non può eccedere i 10 metri, essendo tale l'altezza di una colonna di acqua equivalente alla pressione dell'atmosfera; in pratica non oltrepassava i 6 metri, per la imperfezione del vuoto; l'altezza del tubo d'elevazione sarebbe limitata solo dalla forza resistente della caldaja; ma nelle macchine costruite da Savary, quell'altezza non oltrepassava i 20 metri; e per conseguenza la pressione nella caldaja doveva essere di circa tre atmosfere, ossia due al di sopra dell'atmosfera. Il robinetto m serviva ad indicare il livello dell'acqua nella caldaja: se l'acqua è al di sotto della bocca del tubo, aprendo il robinetto ne esce vapore; se l'acqua trovasi sopra della bocca del tubo, allora il vapore la farà uscire; e sarà indicato così il suo livello approssimativo.

L'acqua nella caldaja, vaporizzandosi di continuo, verrebbe a finire, se non ne fosse introdotta nuovamente di quando in quando; questo si operava mediante una seconda caldaja che si riempiva di acqua; la si faceva bollire; si portava la tensione del suo vapore al di là di quella nella caldaja principale, ed allora si permetteva all'acqua di passare dall'una caldaja all'altra.

Nella nostra figura è rappresentato un solo recipiente, ma il più delle volte Savary ne adoperò due; i quali si ponevano alternatamente in comunicazione con la caldaja; sicchè nell'unico tubo elevatorio si aveva una cor-

(1) È chiaro che se si ha cura di riempire dapprima il tubo e il recipiente c, non saranno necessarie le operazioni preliminari per scacciare l'aria; e la macchina comincerà a operare sùbito.

rente ascenzionale non interrotta. In tale forma questa macchina fu adoperata nelle miniere inglesi, quantunque il doverla situare dentro del pozzo, a distanza non maggiore di 6 metri dall'acqua, era grave inconveniente; in singolar modo per le miniere di carbone.

LEZIONE VIII.

41. Applicazione di Rigley. — 42. Newcomen; 1710. — 43. Leupold; 1725. — 44. Smeaton; 1769.

41. *Applicazione di Rigley.* — La macchina di Savary, quale l'abbiamo descritta, non poteva far altro se non elevare acqua; ma pochi anni dopo la sua invenzione, Rigley l'applicò in modo da ricavarne un movimento rotatorio; la fig. 25 rappresenta il principio di questa applicazione: il tubo elevatorio *a* d'una macchina di Savary, conduce l'acqua dal livello *b* alla vasca *c;* la grande ruota *d*, è munita di cassette alla sua periferia, le quali alla sinistra dell'albero rivolgono in alto le loro bocche, alla destra le rivolgono in basso. L'acqua effluendo dal becco *e* della vasca, riempisce la cassetta *f*, il che produce esquilibrio, e la ruota volge nel verso indicato dalla freccia; questo movimento porta le altre cassette sotto al becco, dimodochè le più di esse a sinistra dell'albero, vengono riempite, per vuotarsi quando giungono al basso della ruota, e salire dall'altro lato vuote. Si vede da ciò che essendo costantemente di maggior peso la parte sinistra della ruota, questa girerà con forza proporzionata al peso dell'acqua; e nel mentre, la macchina di Savary solleva l'acqua caduta nelle cassette, e mantiene piena la vasca *c*. L'idea di questa macchina si deve a Papin; e l'aveva proposto assai prima.

Digitized by Google

Mediante questo ripiego, la macchina di Savary venne messa a varj usi; ma la sua applicazione non fu mai molto estesa, poichè il lavoro da essa svolto, costava più di quello reso dagli animali. E inoltre, quello che bisognava in singolar modo in quei tempi, si era un qualche meccanismo per l'esaurimento delle miniere, che potesse trarre sù grandi volumi di acqua, spingendola a grande altezza; abbiamo veduto non essere adatta la macchina di Savary all'elevazione dell'acqua oltre i 30 metri circa d'altezza; e inoltre era assai inconveniente, come dicemmo, dover situare la macchina a non più di 6 o 7 metri dall'acqua, epperò dentro il pozzo. Queste considerazioni fecero ritornare all'idea, suggerita da Papin, di formare il vuoto in un cilindro mediante il vapore; tuttavia dovette cangiarsi il modo di operare, poichè quello da lui ideato non era praticabile.

42. *Newcomen*; 1710. — La macchina atmosferica di Newcomen, che mette in forma pratica il pensiero di Papin, fu inventata nel 1710; essa macchina opera in virtù della pressione atmosferica, e rassomiglia molto uno degli esperimenti di Ottone Guericke (1), fatto per mostrare ad evidenza quella pressione. La fig. 26 rappresenta la macchina di Newcomen nella forma adoperata per l'innalzamento dell'acqua dalle miniere: la caldaja *a* è collocata in una fornace simile a quella usata da Savary; ma dove la pressione adoperata da questo era circa tre atmosfere, quella di Newcomen non sorpassava mai $1\ ^1/_{10}$, per conseguenza la valvola di sicurezza era caricata solamente di circa $^1/_{10}$ di chilogramma per ogni centimetro quadrato; e ciò assicurava la caldaja da ogni pericolo di scoppio. Un tubo *b*, metteva la caldaja in comunicazione col cilindro *c*; l'orifizio del tubo poteva chiudersi, volendo, mediante la piastra di bronzo *d*, attaccata al pezzo *e* simile al mastio d'un robinetto; volgendo in un

(1) Descritto nel § 36.

verso o nell'altro questo mastio, la piastra chiudeva o lasciava aperto il meato tra caldaja e cilindro. In questo ultimo era aggiustato lo stantuffo *f*, avente alla periferia una scanalatura piena di molle fune di canape; essendo liscia la superficie del cilindro, questa guarnitura faceva sì, che mentre lo stantuffo poteva scorrere senza troppo attrito, veniva vietato il passaggio di aria o di vapore tra stantuffo e cilindro. Allo stantuffo era attaccata la catena *g g'*, che andava ad avvolgersi sull'arco *h* del bilanciere *i*, il quale era libero di oscillare intorno al suo pernio *l*. All'altra estremità del bilanciere, terminata similmente da un arco, era legata la catena *m*, che portava l'asta di stantuffo della tromba. Legati alla catena medesima erano i contrappesi *n*, i quali facevano sì che essendo lo stantuffo *f* in equilibrio, la macchina prendesse sempre la posizione indicata nella figura: cioè collo stantuffo alla estremità superiore del cilindro; nella vaschetta *o* vi era acqua fredda, la quale, aprendo il robinetto *p*, penetrava dentro del cilindro.

L'operar, della macchina era come segue: — Allorquando si vedeva uscire abbondantemente il vapore dalla valvola di sicurezza, si apriva la valvola *d*, e il vapore penetrando nel cilindro ne scacciava l'aria per la valvola *q;* quando tale aria era tutta espulsa, il che veniva significato dalla trasparenza del vapore effluente, si chiudeva la valvola d'ammissione *d*, e si apriva il robinetto *p*. L'acqua, in virtù dell'altezza del recipiente, penetrava nel cilindro; e venendo in contatto col vapore, questo le cedeva il calore proprio e per conseguenza si condensava in parte, la tensione diventava quindi minore di quella atmosferica, ed allora l'acqua della vaschetta *o*, spinta dalla differenza di pressione, veniva giù con grande impeto nel cilindro, ed urtando contro lo stantuffo ne rimbalzava, riempendo tutto lo spazio d'una minuta pioggia; questa condensava quasi istantaneamente il vapore, e il cilindro ne rimaneva pressochè vuoto; si chiudeva intanto

il robinetto p. La pressione dell' atmosfera premeva nel mentre sul sopra dello stantuffo, senza che fosse bilanciata da altra sottostante; e siccome il peso dell'acqua contenuta nella tromba era regolato in modo, da esser un pò men forte della pressione atmosferica sullo stantuffo motore, così questo discendeva e nel tempo medesimo innalzava l'acqua contenuta nella tromba. Giunto lo stantuffo al fondo del cilindro, si apriva nuovamente la valvola d, il che rendeva la pressione nel cilindro eguale a un dipresso a quella atmosferica. Il cilindro e lo stantuffo si erano raffreddati per l'injezione di acqua fredda; e per conseguenza una parte del vapore doveva condensarsi nel portare il cilindro alla propria temperatura; nel mentre, l'acqua che si era raccolta nel fondo del cilindro effluiva pel tubo r, la cui bocca era chiusa da una valvola che s'apriva dall'interno all'esterno; quando la pressione interna era minore di quella atmosferica, questa valvola si manteneva chiusa mercè la pressione atmosferica medesima; ma una volta resa la pressione interna eguale a quella esterna, essa valvola si apriva pel peso della colonna liquida contenuta nel tubo r, e l'acqua ne sgorgava. Una volta scaldata quella parte del cilindro in contatto col vapore, la tensione in essa sarà eguale o poco maggiore di quella dell'atmosfera; allora il contrappeso n farà innalzare lo stantuffo, e il cilindro si riempirà di vapore dalla caldaja; giunto f all'estremità della gita, si chiude la valvola d e si apre il robinetto p; ciò farà condensare il vapore, sarà distrutta gran parte della sua tensione, e la forza dell'atmosfera farà nuovamente discendere lo stantuffo. Alternando così l' intromissione del vapore e dell'acqua fredda, si ottiene ripetutamente la discesa dello stantuffo sotto la pressione atmosferica, il che costituisce il lavoro della macchina. Se il vuoto fosse perfetto, lo stantuffo sarebbe spinto giù con forza eguale ad 1 chilogramma per ogni centimetro quadrato; ma in pratica si otteneva appena $1/2$ di tale pressione,

sia per l'imperfetto raffreddamento, sia per la penetrazione inevitabile dell'aria, e per l'attrito.

Conoscendo la pressione fatta dall'atmosfera sullo stantuffo della macchina di Newcomen, è facile computare qual rapporto debba esservi tra il diametro di esso stantuffo e quello della tromba. Se l'altezza alla quale si dovesse condurre l'acqua rispondesse alla pressione fatta dall'atmosfera sullo stantuffo, è chiaro che la tromba dovrebbe avere le medesime dimensioni del cilindro; e ne segue che per ogni pressione, ossia altezza, maggiore, la tromba dev'essere tante volte più piccola del cilindro, quante volte la pressione sul proprio stantuffo sia più grande di quella utile sullo stantuffo motore. Le gite, gli spazj percorsi, da due stantuffi sono eguali, quindi la differenza può essere solamente nei rispettivi diametri.

Sia un pozzo profondo 100 metri: si domanda qual diametro debba avere lo stantuffo d'una macchina di Newcomen, atta a muovere una tromba del diametro di 20 centimetri, sollevando l'acqua da quel pozzo? Ogni 10 metri di acqua equivalgono ad un'atmosfera circa di pressione: per conseguenza, nel caso supposto la pressione dell'acqua sullo stantuffo della tromba sarebbe: $\frac{100}{10} = 10$ atmosfere; cioè 10 chilogrammi per ogni centimetro quadrato; la superficie dello stantuffo è: $20^c \times 20^c \times 0{,}7854 = 314$ centimetri quadrati, epperò la pressione totale sarebbe: $314 \times 10 = 3140$ chilogrammi; a questa dobbiamo aggiungere $\frac{1}{10}$ circa per gli attriti, dimodochè abbiamo: $3140 + \frac{3140}{10} = 3454$ chilogrammi. La pressione effettiva sullo stantuffo motore è mezzo chilogramma per ogni centimetro quadrato; per conseguenza se chiamiamo x l'area dello stantuffo, allora: $x \times \frac{1}{2}$ deve dare 3454; d'onde $x = 6908$ centimetri quadrati; e per avere tale superficie, il diametro dello stantuffo sarebbe circa 93 $\frac{1}{2}$ centimetri. Infatti, facendo l'operazione inversa di quella

Digitized by Google

per cui trovammo la superficie dello stantuffo della tromba, abbiamo:

$$\sqrt{\frac{6908}{0,7854}} = 93,5 \text{ circa.}$$

È chiaro che essendo la gita eguale per ambi gli stantuffi, l'estensione di essa non influisce sulle rispettive pressioni equilibrantisi; ma nel computare la quantità di lavoro fornito dalla macchina, dobbiamo stabilirla, poichè il lavoro consta di forza che operi per un dato spazio.

Si supponga che sia $1^m, 5$; allora la pressione, ovvero il peso, o diciamo pure la forza, di 3454 chilogrammi, opererebbe in ogni gita dello stantuffo per lo spazio di $1^m, 5$: e quindi in ogni gita sarebbe svolto il lavoro di: $3454 \times 1^m,5 = 5181$ chilogrammetri. Si supponga inoltre che lo stantuffo faccia 16 gite doppie, cioè che discenda 16 volte, in ogni minuto: il numero di chilogrammetri sviluppati in questo intervallo di tempo sarebbe: $5181 \times 16 = 82\,896$. E siccome 4500 chilogrammetri al minuto (75 al secondo), costituiscono quella unità di lavoro detta *cavallovapore*, così la forza della macchina che consideriamo sarebbe, espressa in cavallivapore:

$$\frac{82\,896}{4500} = 18,4.$$

Nella forma or ora descritta del motore di Newcomen, la valvola che ammetteva il vapore al cilindro, e il robinetto da injezione, erano aperti e chiusi nei giusti periodi da ragazzi che dovevano attendere costantemente alla macchina. Uno di questi, osservando che doveva chiudere la valvola del vapore subitochè era giunto lo stantuffo, epperò il bilanciere, al sopra della gita, e nuovamente aprirla quando era disceso lo stantuffo, e inoltre che il robinetto dell'injezione doveva star chiuso quand'era aperta la valvola, ed aperto quando questa era chiusa, concepì l'idea di far nascere il movimento di essi

Digitized by Google

dal bilanciere medesimo; e mediante una grande complicazione di funi, leve, ecc., conseguì il suo intento; producendo così la prima macchina a vapore automotrice. Ne risultò un notevole aumento del numero di colpi dati dalla macchina, epperò del suo lavoro; essendochè, non dipendendo oramai il moto dello stantuffo dalla solerzia dell'assistente, l'andamento del meccanismo riusciva più certo.

43. *Leupold ;* 1725. — Nella macchina a vapore secondo l'idea di Papin (§ 39), la forza viene dalla pressione atmosferica, a cui si lascia libertà di operare, per esser tolta la pressione dall'altro lato dello stantuffo; e circostanza fondamentale è la condensazione del vapore. Vedemmo (§ 1) che si può ricavare forza utile dal vapore anche senza condensarlo, generandolo, cioè, a tensione maggiore di quella atmosferica, e facendo operare sullo stantuffo l' eccesso di pressione. Questa forma di macchina è evidentemente più semplice dell'altra a condensazione, tanto per il concetto, quanto per la maniera di eseguirlo: pure venne alla luce più tardi. Fu proposta verso il 1725 da Leupold (1), insigne meccanico alemanno; ecco come la descrive: figura 27; per mezzo del robinetto a due passaggi *a*, la caldaja *b*, può comunicare vicendevolmente col sotto di ciascuno de' cilindri *c*, *d*, nei quali sono aggiustati gli stantuffi *e*. *f*. Le aste dei medesimi vanno ad unirsi ai bilancieri *g*, *h*, che alle altre estremità portano le aste delle trombe. Col robinetto posto come nella figura, lo stantuffo di *c* subisce la pressione del vapore nella caldaja, operante dal basso in alto, e la pressione dell' atmosfera dall'alto in basso (poichè è aperto il sopra del cilindro); essendo la tensione del vapore superiore a quell' atmosferica, lo stantuffo *e* sarà spinto in su; nel mentre, il sotto dell'altro cilindro è in comunicazione con l' at-

(1) Nel « *Theatrum Machinarum Hydraulicarum,* » Lipsia, 1725.

Digitized by Google

mosfera, e per conseguenza la tensione in esso è eguale a quella atmosferica; in tale circostanza, la gravità dello stantuffo, ovvero un apposito contrappeso, lo fa scendere al fondo del cilindro: quando *e* giunge al sopra della propria gita, ed *f* è giunto al fondo del cilindro, si volge d'un quarto di giro il robinetto, che prende allora la posizione mostrata in A. Posto *c* in comunicazione con l'atmosfera, il vapore che lo riempiva scappa via, fino a che la sua tensione non sia ridotta a quella atmosferica, ed allora il contrappeso lo fa discendere; e nel tempo medesimo, essendo *d* in comunicazione con la caldaja, lo stantuffo *f* verrà sospinto. Alternando così la posizione del robinetto, si ottiene il moto alternato de' due stantuffi.

Questa macchina, in sè medesima buona, e pochissimo differente, quanto al modo di operare, da quelle delle nostre locomotive, non ebbe per allora sviluppo; poichè mancava in quei tempi l'arte di costruire caldaje che potessero ben reggere alle forti pressioni.

44. *Smeaton*; 1769. — Continuava perciò in uso la macchina atmosferica, che verso questa epoca conseguì tutta la perfezione di cui era capace, nelle mani del grande ingegnere Smeaton; egli costruì una macchina d'esperimento, ed eseguendo con essa una serie d'esperienze saggissime, giunse a migliorare d'assai ogni parte del meccanismo di Newcomen. E quindi eresse macchine veramente grandiose, fra cui una a Chasewater il cui cilindro aveva il diametro di ben 1^m 80; ed oltre 3 metri di gita.

Ma, per i vizj inerenti al sistema, il consumo di vapore era eccessivo: per ottenere una gita dello stantuffo, non solo si doveva riempire di vapore il cilindro, ma era necessario bensì riscaldarlo dalla temperatura di condensazione fino a quella del vapore nella caldaja; e questo, non una sola volta, ma in ogni colpo di stantuffo. Il lavoro reso costava perciò, in molti luoghi, più ancora

di quello fornito dagli animali; e la macchina atmosferica era adoperata solamente dove faceva mestieri una grande forza, e in quei luoghi in cui il combustibile poteva aversi assai a buon mercato, come per esempio nelle miniere di carbone. La macchina d'esperimento di Smeaton, dalla forza di circa 6 cavallivapore, consumava ben 25 chilogrammi di carbone per cavallo e per ora; e quelle più grandi circa 8. E ciò, non ostante che le macchine erano ben costruite, considerando i tempi, e con buone proporzioni; tanto che alcune esistono e lavorano ancora nelle miniere inglesi.

Digitized by Google

LEZIONE IX.

45. Watt; suoi primi Esperimenti, 1759-65. — 46. Watt; sua Macchina da Tromba, 1769.

Appendice: — Nota sul primo modello di Watt.

45. *Watt; suoi primi esperimenti,* 1759-65. — Dalla idea di Papin, in cui dobbiamo riconoscere l' embrione della macchina a vapore, fino a' perfezionamenti di Smeaton, che diedero a quella idea tutto lo sviluppo possibile senza modificarla in maniera essenziale, i progressi conseguiti nell'arte di produrre la nuova forza motrice furon tutti dovuti all'esperienza empirica, con pochissimo ajuto da principj scientifici. E infatti nella macchina atmosferica non abbiamo altro se non il concetto cardinale di Papin, ridotto a forma pratica con l'aggiunzione della caldaja separata, delle valvole, e dello zampillo interno per condensare il vapore : cose tutte adoperate non per conoscenza de' principj che regolano la loro operazione, sì bene per necessità materiale. E sembra che lo stesso Smeaton si fosse limitato ad osservare i fatti isolatamente, e a rendere più perfetta l'azione della macchina nello stato in cui era, senza cercare di giungere alle leggi fondamentali. Neppure nella macchina di Leupold si scorge questa ricerca scientifica , ma solamente l' applicazione pratica della forza espansiva, conosciuta fin da' tempi di Erone d'Alessandria.

Digitized by Google

« Il progresso empirico» dice Rankine (1), « quantunque essenziale al perfezionamento delle arti meccaniche ne' loro particolari, è limitato ad apportare lievi modificazioni ne' meccanismi esistenti, ed è limitato, per conseguenza, il campo dei suoi effetti. »

Ma siam giunti adesso ad un periodo della nostra storia in cui « al progresso empirico venne sostituito lo scientifico, e in cui perciò si ottenne in pochi anni più di quanto si era ottenuto in diciannove secoli di empirismo. » E l'uomo che conseguì tanto fu Giacomo Watt.

Fin dal 1759 Watt rivolse la sua attenzione alla macchina a vapore; e nel 1761-62 fece alcuni esperimenti con un ingegno che aveva immaginato, simile alla macchina di Leupold (§ 43). « Ma io abbandonai » egli dice « l'idea di costruire una macchina sopra questo principio, essendo convinto che avrebbe taluno degli inconvenienti della macchina di Savary. cioè il pericolo d' esplosione della caldaja, e la difficoltà di mantener salde le giunture; e in oltre vi si perderebbe gran parte della potenza del vapore, non essendovi formazione di vuoto per agevolare la discesa dello stantuffo. »

Altri affari impedirono per allora il Watt di proseguire i suoi esperimenti; se non che poco dopo egli ebbe l'incombenza di accomodare alcuni strumenti di scienze fisiche nell' università di Glasgow. E fra gli altri vi era un modello della macchina atmosferica, che non andava bene, e che Watt attese a racconciare; (1763-64). « Mi posi » narra l'illustre uomo « a ripararlo come semplice meccanico; e quando l'ebbi finito e lo feci operare, fui sorpreso vedendo che la sua caldaja non forniva abbastanza vapore, benchè sembrasse grande a sufficienza; (il cilindro del modello aveva il diametro di 2 pollici ed una gita di 6; e il diametro della caldaja era circa 9 pollici). Attizzando il fuoco, la macchina faceva qualche

(1) *Prime Movers*, p. XIX.

colpo; ma tuttavia pigliava grandissima quantità di acqua per l'injezione, quantunque fosse leggiero il carico della tromba. Mi sovvenne sùbito derivare ciò dalla grande superficie esposta dal piccolo cilindro al vapore: assai maggiore, in proporzione al volume, di quella de' cilindri in grande. Accorciando la colonna d'acqua nella tromba, la caldaja poteva fornire il cilindro, e il modello operava regolarmente con mediocre quantità d' injezione. E fu chiaro allora, che il cilindro del modello, essendo di ottone, conduceva il calore assai meglio di quelli di ghisa delle grandi macchine (i quali eran spesso rivestiti internamente di una crosta pietrosa, dovuta al sedimento dell'acqua), e che si potrebbe conseguire notevole vantaggio facendo i cilindri di qualche materia che fosse lenta nel ricevere e nel dare il calore. » Allora Watt costruì un cilindro, foderato, nell'interno, di legno imbevuto di olio di lino, e perfettamente disseccato a forno: ma trovò che non sarebbe durevole, e che, inoltre, cercando di ottenere un vuoto più perfetto nel cilindro, con injettarvi maggior copia di acqua fredda, si soffriva grande perdita di vapore; e l'attribuì, apponendosi, come vedremo più innanzi, all' ebollizione dell' acqua pel calore del cilindro, e all' assorbimento di calore che ne conseguiva. Tanto che non si otteneva vantaggio da un vuoto più perfetto, e che valeva meglio, invece, contentarsi di poco più di mezza atmosfera di pressione.

A fine di stimare la perdita di vapore, fece alcuni esperimenti per conoscere il volume specifico del vapore sotto la pressione atmosferica. Poi costruì una caldaja che mostrava la quantità di acqua vaporizzata in un dato tempo; e trovò che la mole del vapore preso dalle macchine atmosferiche, era assai volte più grande del volume sviluppato dallo stantuffo. Nel condurre queste ricerche lo sorprese l'immensa quantità di calore ceduta dal vapore nel condensarsi, e indovinò sùbito che non si trattava di calore ordinario; immaginò allora, ed eseguì

l'esperienza descritta al § 26, fig. 13, e scoprì da per sè medesimo il fatto del calore insensibile contenuto nel vapore; fatto fondamentale nella storia del vapore, e che era stato poco prima insegnato da Black, nell'università di Glasgow, insieme alla dottrina di questo scienziato, del calorico latente.

Conosciute queste leggi principali, fu chiaro alla grandiosa mente di Watt esser necessarie alla buona operazione della macchina queste condizioni: 1° che il cilindro sia mantenuto caldo quanto il vapore che vi entra; 2° che nel condensare il vapore, la sua temperatura sia resa assai bassa. I mezzi di conseguire tali condizioni non gli occorsero al momento; ma nel principio del 1765 « mi sovvenne, » dice Watt « che se fosse aperta una comunicazione tra un cilindro contenente vapore, e un altro recipiente vuoto di aria o altri fluidi, il vapore, per la propria elasticità, si precipiterebbe sùbito nel vaso vuoto; e continuerebbe ad affluirvi, fin quando si sarebbero equiparate le pressioni; e che se tale recipiente fosse mantenuto freddo per mezzo d'uno zampillo o altro, continuerebbe l'efflusso del vapore fino alla sua totale condensazione. » Così dunque mercè questa semplicissima aggiunta di un vaso separato, in cui si poteva condensare il vapore, Watt ottenne le due condizioni prefisse: il cilindro non era più raffreddato pel contatto dell'acqua fredda; e si poteva ciò non ostante condensare benissimo il vapore, portandolo a bassa temperatura nell'altro recipiente. Ma questo *condensatore* presto si riempirebbe dell'acqua injettata, e di quella in cui si riduce il vapore nel condensarsi; inoltre, l'acqua injettata, e quella di che si alimenta la caldaja, contiene sempre alquanta aria, sicchè insieme al vapore e all'acqua, penetra nel condensatore una quantità più o meno grande di aria: questa sprigionandosi guasterebbe il vuoto, e il vapore non penetrerebbe più nel condensatore. Watt immaginò due maniere di porvi riparo: il primo era, di adoperare una tromba, a guisa

d'una macchina pneumatica, per estrarre l'aria, e lasciar effluire l' acqua per un tubo che scendesse più di 10 metri dal fondo del condensatore; (è manifesto che, essendovi nel condensatore una pressione molto minore di quella atmosferica, se si aprisse direttamente una comunicazione all'atmosfera, entrerebbe aria nel condensatore; quando invece la comunicazione è fatta mediante un tubo pieno di acqua, e lungo tanto che la pressione dell'acqua equilibri quella atmosferica, può avvenire l'efflusso di acqua senza che l'aria possa penetrare); il secondo mezzo, e quello che poi adoperò in pratica, era di tirar fuori tanto l'aria quanto l'acqua mediante una tromba.

Ottenuto che il cilindro non fosse più raffreddato per l'injezione d'acqua fredda, Watt immaginò difenderlo pure dal raffreddamento dovuto all'atmosfera. Nella macchina di Newcomen lo stantuffo veniva spinto giù, non da vapore, ma dall'aria atmosferica; Watt coprì il sopra del cilindro e lo fece comunicare permanentemente con la caldaja; dimodochè lo stantuffo veniva spinto a discendere dal vapore; quando subiva la pressione tanto sotto quanto sopra, era in equilibrio; ma quando era distrutta la pressione sottostante, il vapore di sopra lo deprimeva precisamente come l'aria nella macchina atmosferica.

La fig. 28 rappresenta lo strumento adoperato da Watt per mettere alla prova il suo trovato: — Il tubo *a* comunicava con una caldaja che forniva vapore di tensione alquanto superiore di quella atmosferica; mediante i robinetti *b*, *c*, il tubo poteva comunicare col cilindro *d*, il cui stantuffo *e*, aveva attaccato alla sua asta il peso *f*; il sopra del cilindro era posto in comunicazione col condensatore *g h*, formato di due tubi riuniti sopra e sotto; al basso del condensatore era attaccata la tromba *i*; tanto questa quanto il condensatore erano immersi nell'acqua fredda contenuta dalla vasca *u*. Chiuso il robinetto *m*, si estraeva l'aria da *g h* mediante la tromba, che, come

vedesi, è combinata a guisa d'una macchina pneumatica; e generato vapore nella caldaja si aprivano i robinetti *b* e *c*; in questo stato delle cose, lo stantuffo, trascinato dal peso, posava sul fondo del cilindro; l'aria contenuta nello spazio sopra lo stantuffo veniva scacciata dal vapore per un foro praticato per lo lungo dell'asta e che veniva poi turato; scacciata interamente l'aria si chiudeva *b* e si apriva *m*. Allora il vapore di che era pieno il cilindro, trovando uno spazio vuoto in *g*, vi si diffondeva sùbito e vi si condensava per il contatto delle pareti fredde, dimodochè quasi tutto il vapore usciva dal cilindro, lasciandolo per conseguenza vuoto; nel mentre, la pressione del vapore continuando ad operare sulla superficie inferiore dello stantuffo, sollevava questo insieme al peso a lui legato. Giunto lo stantuffo al sopra della gita si chiudeva *m*, e si apriva *b*; in conseguenza di ciò la pressione del vapore operava anche sul sopra dello stantuffo, il quale veniva tratto giù dal peso. Facendo operare di quando in quando la tromba *i*, si estraeva dal condensatore l'acqua proveniente dalla condensazione, insieme all'aria che, come dicemmo sopra, accompagna il vapore; e però si manteneva possibilmente costante il vuoto in *g*.

Mediante questo ingegno Watt provò la possibilità di ottenere un vuoto abbastanza buono nel cilindro senza applicare freddo dentro del cilindro stesso. In questo primo modello la condensazione si effettuava solo per contatto delle pareti del condensatore; ma più tardi Watt adoperò lo zampillo interno per rendere più rapido e più completo il fenomeno, e per diminuire le dimensioni della macchina, o meglio di questa sua parte. Misurando la quantità di vapore adoperato, e il lavoro prodotto nel sollevare il peso, Watt potè constatare che il suo metodo dava un notevole risparmio rispetto alla macchina atmosferica.

Riandando la storia che abbiamo cennato, vediamo il

Digitized by Google

prodigioso sviluppo dato da Watt alla macchina a vapore nella forma fondamentale imaginata da Papin: quella cioè in cui la forza sarebbe derivata dalla formazione del vuoto sotto uno stantuffo; se pure ci è lecito chiamare sviluppo l'aver introdotto un elemento affatto nuovo: l'esclusione dell'aria atmosferica per far operare solamente vapore. Papin (§ 39) aveva proposto di produrre il vapore mettendo sul fuoco il cilindro, e di formare il vuoto raffreddando il cilindro medesimo. Newcomen (§ 42) lo riempiva di vapore da una caldaja separata, evitando così di doverlo produrre nel cilindro, ma otteneva il vuoto tuttavia mediante il raffreddamento dello stesso. Watt conseguì tanto la vaporizzazione quanto la condensazione in recipienti separati, isolando così il cilindro e dal fuoco e dall'acqua fredda.

La presenza di acqua nel cilindro caldo sarebbe nociva: poichè abbassandosi la tensione del vapore per la comunicazione con lo spazio vuoto, quell'acqua bollirebbe, rubando così calore al cilindro. Con lo scopo di evitar questo, Watt inviluppò interamente di vapore questo pezzo rivestendolo di una camicia esterna mantenuta sempre piena di vapore dalla caldaja.

46. *Watt; sua Macchina da Tromba*, 1769. — La figura 29 rappresenta questi miglioramenti di Watt applicati ad una macchina da tromba: — La caldaja *a* riceve il calore del fuoco da sotto e da' fianchi; i tubi *b*, *b*, servono ad indicare il livello dell'acqua, come nella macchina di Savary (§ 40); e il tubo *c* a far penetrare l'acqua nella caldaja secondo che va diminuendo per la vaporizzazione; il cilindro *d* è inviluppato dalla camicia *e e*, la quale comunica liberamente con la caldaja per il tubo *f;* la faccia superiore dello stantuffo *g* è per conseguenza sempre in contatto col vapore; l'asta *h*, penetra per un foro nel coperchio, ed è circondata dalla scatola a trecce *i;* questa consiste in una scatola cilindrica che cinge l'asta a qualche distanza; lo spazio fra l'asta e le

pareti della scatola è ripieno d'una treccia di canape inbevuta di sego ed olio, e che viene compressa intorno all'asta dalle viti *l l*, mediante il pezzo *m;* in virtù di questo ingegno l'asta può scorrere attraverso il coperchio senza lasciar sfuggire vapore dal cilindro. All'estremità superiore dell'asta è collegata una catena che s'avvolge sull'arco del bilanciere come nella macchina atmosferica. Il vapore può comunicare anche sotto dello stantuffo aprendo la valvola *n;* mediante la valvola *o* si può aprire o chiudere la comunicazione fra il sotto del cilindro e il condensatore *p;* queste valvole vengono mosse da aste, circondate da apposite scatole a trecce, e che sono articolate alle leve *q, r,* che alla lor volta ricevon movimento dal bilanciere, mercè un meccanismo che non ci occorre descrivere. Il condensatore *p* comunica al basso con la tromba ad aria *s s*, la quale, insieme col condensatore, è sommersa nell'acqua della vasca *t;* una tromba ordinaria *u v,* mossa dalla macchina medesima, mantiene sempre piena la detta vasca. Nello stato di equilibrio lo stantuffo *g* è mantenuto al sopra della sua gita da' contrappesi posti all'altra estremità del bilanciere.

Allorquando bolle l'acqua nella caldaja, si aprono le valvole *n, o;* il vapore scaccia l'aria dal cilindro e dalla sua camicia, facendola uscire per le valvole della tromba ad aria; e ne penetra pure una porzione nel condensatore *p;* quivi, incontrando le pareti fredde, si condensa lasciando lo spazio parzialmente vuoto. Chiudendo la valvola *n*, il vapore della caldaja non può penetrare più sotto dello stantuffo, e per conseguenza la tensione del vapore che si conteneva nel cilindro si abbassa sùbito per la continuata condensazione in *p;* e continuando il vapore della caldaja a premere lo stantuffo dall' alto in basso, lo fa discendere, mentre quello che riempiva il cilindro passa tutto nel condensatore, liquefacendosi nel tempo medesimo. Giunto lo stantuffo al basso del cilin-

dro, si chiude la valvola *o*, e si apre *n;* allora uguagliandosi la pressione sotto e sopra, lo stantuffo sale in virtù del contrappeso. Nel mentre, la tromba ad aria, mossa dal bilanciere, avrà estratta l'aria rimanente, e per conseguenza avrà reso più perfetto il vuoto; aperto il robinetto *x*, che comunica con un becco in *p*, la pressione atmosferica spinge l'acqua della vaschetta a penetrare dentro del condensatore ed a formarvi uno zampillo. Quando lo stantuffo giunge al sopra della gita, si chiude *n* e si apre *o*. Il vapore si precipita dal cilindro al condensatore, ed incontrando lo zampillo di acqua fredda si condensa immediatamente: e rimanendo in tal guisa un'altra volta vuoto il sotto del cilindro, il vapore spinge giù nuovamente lo stantuffo, innalzando nel medesimo tempo l'acqua nella tromba posta all'altra estremità del bilanciere. Alternando così l'aprire e il chiudere delle due valvole, si ha un movimento continuato del bilanciere: la tromba ad aria mantiene costante il vuoto, estraendo dal condensatore l'aria, e insieme l'acqua entratavi in forma di vapore dal cilindro, e quella dello zampillo; sicchè la macchina continua ad operare tutte le volte che la caldaja le fornisca abbastanza vapore.

Digitized by Google

APPENDICE ALLA LEZIONE IX.

Nota sul primo modello di Watt.

Come si vede dal cenno, dato nella lezione precedente, di questo modello, il lavoro prodotto consisteva nell' innalzamento di un peso legato all'asta dello stantuffo; ed avveniva tale innalzamento per la dilatazione del vapore nella caldaja, la cui forza elastica era assai più possente di quella del fluido nel condensatore col quale comunicava il sopra del cilindro. È probabile che la velocità con cui si faceva salire il peso, era assai piccola, poichè non vi era limite alla gita, e quindi con grande celerità sarebbe accaduto un urto sul coperchio del cilindro; si può supporre, dunque, che la differenza fra le pressioni di sotto e di sopra era appena appena più grande del valore del peso innalzato. Giunto lo stantuffo al sopra della gita, si aveva: il peso sollevato per una certa altezza, e il cilindro pieno di vapore di tensione eguale a un dipresso a quella nella caldaja, ed equivalente al peso. Se in questo stato delle cose si fosse tolto il peso, e, aperti ambo i robinetti, lasciato scendere lo stantuffo solo, per legarlo ad un altro peso al basso della gita, la discesa dello stantuffo non avrebbe operato effetto alcuno sul vapore: quello di sotto sarebbe passato sopra senz' altro; e poi per il sollevamento del secondo peso si sarebbe scaricato, espandendosi, nel condensatore. E questa discesa libera dello stantuffo sarebbe condizione essenziale in una macchina che svolgesse vero lavoro meccanico; si dovrebbe avere un sollevamento ripetuto di pesi senza la corrispondente discesa. Ma nello strumento di Watt non si aveva questa condizione: il peso era sollevato sì, ma tornava a discendere altrettanto in ogni colpo di stantuffo, dunque vero lavoro in ultimo non

Digitized by Google

se ne svolgeva, non era prodotto alcun effetto permanente; e questa circostanza dovette influire sulla riuscita dell'esperienza in quanto a consumo di vapore; ed ecco in qual maniera: Se il peso si togliesse al sopra della gita, come dissi sopra, il vapore passerebbe senza più dal sotto al sopra del cilindro; poi, aperto l'adito al condensatore, si espanderebbe diminuendo di tensione; avverrebbe dunque abbassamento di temperatura nel vapore, e per conseguenza un certo raffreddamento del cilindro. Ma pare certo che Watt non lo toglieva il peso al sopra del cammino, e quindi non poteva aprire libera comunicazione fra 'l sotto e il sopra del cilindro, poichè se così avesse fatto, il peso sarebbe rovinato giù di botto; doveva dunque moderare la discesa strozzando il meato del robinetto *b*, fig. 28, tanto da diminuire la tensione del vapore sopra lo stantuffo, e mantenerla difatto quasi qual'era per la salita; poichè alla fin fine il peso è il medesimo. Ma tale strozzamento del meato produce effetti importanti assai dal lato teorico: il vapore passa alla parte superiore del cilindro spinto dalla pressione nella caldaja, pressione per altro equivalente al peso, ed è costretto a cacciarsi a forza nel cilindro attraverso il meato impicciolito; si direbbe quasi tirato alla trafila. Il peso discendente sviluppa lavoro, e questo lavoro è impiegato appunto a dare velocità al vapore che penetra nel cilindro; tale velocità si spegne, vuoi per l'attrito nel passare il robinetto, vuoi per l'urto contro le pareti del cilindro medesimo, e ne viene equivalente quantità di calore; in altre parole, il lavoro svolto nella discesa del peso si converte in calore, che va a soprariscaldare il vapore che s'introduce nel sopra del cilindro; cosicchè alla fine della gita questo non trovasi pieno di vapore della temperatura dovuta alla tensione, come sarebbe se non fosse l'effetto del peso, ma invece, di vapore soprariscaldato. Ne conseguita che quando si apre la comunicazione col condensatore l'abbassamento della temperatura riesce più piccolo, e il cilindro è meno raffreddato pel contatto del vapore espanto. Considerando che tutto il lavoro fornito dal vapore, veniva così speso nel produrre un bagno caldo che si applicava alle superficie interne del cilindro, si vede che

Digitized by Google

tale circostanza dovette influire molto sul consumo di vapore, e che per tanto l'esperienza dovè mostrare un risparmio esagerato. E forse fu fortunato questo sbaglio, poichè diede probabilmente sprone maggiōr allo sviluppo dell'invenzione.

Abbiamo intanto qui un esempio della grande utilità della dottrina della *conservazione del lavoro*: guardando questa esperienza senza tener conto di tale dottrina, non sarebbe facile trovarvi difetto: considerando invece, che ogni qualvolta vien prodotto un lavoro meccanico qualunque, ne deve scaturire necessariamente un qualche effetto fisico, siam condotti sùbito alla verità; e infatti è chiaro che vien sollevato ripetutamente il peso, e che ripetutamente discende; il sollevamento è l'effetto della forza elastica del vapore; la ridiscesa è anch' essa alla sua volta sorgente di lavoro, qualche effetto tangibile *deve* seguire da questo lavoro; ed è, come abbiamo veduto, il soprariscaldamento del vapore.

Digitized by Google

LEZIONE X.

47. Watt; scoperta dell'Espansione, 1776.—48. Watt; Cilindro a Doppio Effetto, 1778.—49. Watt; Guida Articolata, Parallelogrammo, 1784.

47. *Watt; scoperta dell'Espansione.* — In virtù dell' inerzia della materia, per mettere in movimento un grave è necessario comunicargli una certa quantità di lavoro meccanico; e similmente, per far cessare il movimento di un grave già in moto, è necessario che gli sia tolta una quantità di forza eguale a quella adoperata per muoverlo. In qualsiasi meccanismo i cui pezzi sieno animati di movimento d'andivieni, in ogni periodo completo tutti i pezzi mobili vengono posti in moto e quindi fermati, per esser nuovamente mossi; per conseguenza è necessario provvedere una forza capace di muoverli, ed una resistenza capace di spegnere il loro moto, in ogni oscillazione dei pezzi mobili.

Nel motore atmosferico di Newcomen i pezzi erano messi in moto dalla pressione dell'atmosfera; e qualora la velocità era grande, per far sì che lo stantuffo non urtasse sul fondo del cilindro, occorreva chiudere il robinetto d' injezione prima che lo stantuffo fosse giunto all'estremità del cammino, dimodochè quella piccola quantità di vapore che rimaneva, veniva compressa per la diminuzione dello spazio, e tale compressione estingueva la forza contenuta ne' pezzi in moto, e perciò li fermava.

Nella macchina di Watt nella sua forma primitiva, fig. 29, si otteneva l'intento chiudendo la comunicazione tra 'l cilindro e 'l condensatore, prima che lo stantuffo fosse giunto alla fine della sua gita; ma questo metodo non era molto efficace, poichè il vapore rimasto nel cilindro, dopo di essere stata aperta la comunicazione col condensatore, era di così tenue tensione che offriva poca resistenza alla discesa dello stantuffo. Ed essendo la pressione sul sopra dello stantuffo sempre la medesima, non era possibile diminuire la velocità dello stantuffo, se, per una cagione qualunque, il peso dell'acqua nella tromba si rendeva minore di quello contemplato nel disegno della macchina; e perciò in tal caso lo stantuffo sarebbe andato ad urtare sul fondo del cilindro. A fine di rimediare a questo inconveniente, e far sì che la macchina potesse operare con regolarità anche quando il lavoro da essa eseguito fosse variabile, Watt adoperò il mezzo che dichiareremo mercè la fig. 30: — Invece di lasciar sempre libera la comunicazione tra la caldaja e il sopra del cilindro *a*, egli frappose la valvola *b* nel tubo, dimodochè, volendo, la comunicazione poteva essere in parte o totalmente chiusa: è chiaro che mantenendo la valvola socchiusa, non potendo il vapore penetrare liberamente nel cilindro, la sua tensione ivi diminuirà secondo che scende lo stantuffo; per conseguenza più si restringe il meato, e più si diminuisce la pressione sullo stantuffo, e però la forza della macchina. Un secondo modo di ottenere il medesimo intento si era, di aprire interamente l'adito nel principio del cammino, e chiuderlo affatto prima che lo stantuffo avesse compiuta la sua gita: in questo modo di operare, una volta chiuso il meato la tensione diminuisce rapidamente, per l'aumento di volume cagionato dal moto dello stantuffo, e si rende perciò incapace di controbilanciare del tutto il peso dell'acqua nella tromba; e questa allora viene elevata in parte dalla forza contenuta nei pezzi in movi-

Digitized by Google

mento, e nell' acqua medesima ; la forza essendo in tal maniera assorbita, lo stantuffo della macchina si ferma vicino il fondo del cilindro, per risalire quando sarà cangiata la posizione delle valvole.

Si osservò in pratica che questo secondo metodo dava un risparmio nella quantità di vapore, epperò di combustibile, bisognevole ad ottenere un dato lavoro; in singolar modo quando si chiudeva la valvola assai prima che lo stantuffo giungesse all'estremità della gita. La cagione di tale aumento di effetto utile si era questa: dopo chiusa la valvola, epperò intercettata la comunicazione con la caldaja, il vapore che riempiva porzione del cilindro, quantunque diminuisse di tensione, faceva ancora una certa pressione sullo stantuffo, e per conseguenza gli comunicava una certa quantità di lavoro, reso indipendentemente dalla caldaja; ed è chiaro che essendo quel lavoro ottenuto senza dispendio di vapore, costituiva un aumento di effetto utile (1).

Perchè si possa chiudere la valvola quando lo stantuffo è ancora a qualche distanza dal fondo del cilindro, e far sì nel tempo medesimo che esso cômpia la sua gita, occorre proporzionare talmente il cilindro alla tromba, che i pezzi mobili acquistino una velocità esagerata nel principio del cammino, affinchè la forza contenuta in essi per l'inerzia, insieme con quella data dal vapore nel dilatarsi, sia sufficiente a completare la gita.

Essendo il principio dell'espansione di grande importanza, conviene intenderlo colla massima chiarezza; investigheremo dapprima sino a qual segno può spingersi tale espansione, cioè quanto lavoro può racchiudersi, per così dire, nei pezzi moventisi della macchina, per esser poi restituito quando questi si fermano.

(1) Watt concepì l'idea dell'espansione nel 1769; ma non sappiamo se a quell'epoca prevedeva l'aumento di effetto utile che ne viene; ne fece uso nel 1776, ed allora ne comprese tutta l'importanza. La pubblicò nel 1782, avendone ottenuto privativa.

Digitized by Google

Si supponga una macchina a bilanciere, nella quale il peso dell' acqua nella tromba sia bilanciato esattamente da contrappesi, posti sullo stantuffo del cilindro: in questo stato delle cose, tutto è in equilibrio. Se si aggiunge un piccolissimo peso allo stantuffo, sarà distrutto l'equilibrio, e quello scenderà sollevando l' acqua nella tromba; essendo il peso aggiunto piccolissimo, sarà ancora piccolissima la velocità, e per conseguenza il lavoro contenuto ne' pezzi in moto; sicchè se viene tolto l'eccesso di peso, il movimento cesserà sùbito, essendo assorbita quella piccola quantità di lavoro dall'elevazione dell'acqua. Si supponga che il peso necessario a far muovere la macchina con velocità regolare sia 50 chilogrammi, e che la gita sia di 1 metro; allora la quantità di lavoro preso dalla tromba in ogni oscillazione sarebbe: 50 ch. $\times$ 1m $=$ 50 chilogrammetri. Se invece di 50 chilogrammi noi poniamo sullo stantuffo un peso maggiore, allora è evidente che per ottenere 50 chilogrammetri di lavoro non farà mestieri che il peso discenda per tutto il cammino; infatti se si adoperi un peso di 100 chilogrammi, questo discendendo di $1/2$ metro avrà reso di già il lavoro di 50 chilogrammetri, poichè 100 ch. $\times$ 0,m 5 $=$ 50 chilogrammetri. Per conseguenza se togliamo questo peso dopo averlo lasciato scendere di $1/2$ metro, il lavoro contenuto ne' pezzi in moto sarà tale da completare la gita senza l'applicazione di ulteriore forza. Similmente se adoperiamo un peso di 500 chilogrammi, possiamo toglierlo dopo che avrà disceso di solo $1/10$ di metro, essendo che allora avrà reso 50 chilogrammetri di lavoro, e per conseguenza la velocità sarà tale da completare l'oscillazione della macchina, perchè i pezzi già contengono la necessaria quantità di lavoro.

Vediamo da ciò che, profittando dell'inerzia, invece di adoperare un peso equivalente a quello dell'acqua, e farlo operare per tutto il cammino, possiamo far uso di un peso maggiore, che discenda solamente per una porzione della gita, che sarà tanto più piccola quanto sarà più grande l'eccesso di peso.

Digitized by Google

È chiaro che tutto quello che si è detto intorno al peso sullo stantuffo, è perfettamente applicabile quando vien prodotta la pressione medesima da vapore o altro fluido; per conseguenza, se la proporzione fra la tromba e 'l cilindro sia tale, che la pressione sullo stantuffo riesca assai più possente della resistenza, allora la velocità data a' pezzi mobili nel principio della gita sarà tale, che, chiudendo la valvola fra il cilindro e la caldaja, lo stantuffo continuerà a discendere, il vapore perciò si dilaterà, e darà fuori per conseguenza l'aumento d'effetto utile di cui sopra è parola.

Per avere un'idea numerica dell'effetto prodotto dall'espansione, si supponga un cilindro *a b*, fig. 31, il cui stantuffo *b* abbia la superficie di 50 centimetri quadrati, e sia capace di percorrere un metro; la gita si supponga divisa idealmente in 4 porzioni eguali, ognuna delle quali sarà lunga $\frac{1}{4}$ di metro; la tensione nella caldaja sia 1 atmosfera; e sia vuota assolutamente la porzione del cilindro sotto lo stantuffo. Questo, nel discendere dal sopra del cilindro alla posizione *b*, essendo spinto dalla pressione di 50 c. q. $\times$ 1 chil. $=$ 50 chil., per lo spazio di $\frac{1}{4}$ di metro, avrà sviluppato 50 chil. $\times$ 0,^{m} 25 $=$ 12, 5 chilogrammetri di lavoro. Giunto in *b*, viene chiuso il robinetto *c*, e perciò il vapore rimane isolato dalla caldaja, sicchè appena discende lo stantuffo la tensione comincia a diminuire, infatti quando sarà giunto in *d*, essendo raddoppiato il volume, la tensione sarà ridotta a metà, (vedasi Lezione VI § 30); rappresentando con la linea *b* la tensione iniziale di 1 chilogramma per centimetro quadrato, quella in *d* sarà rappresentata dalla linea *e;* in questa porzione *b d* della gita, la pressione nel principio è $= 1$, alla fine è $= \frac{1}{2}$; per conseguenza la pressione media è: $\frac{1 + \frac{1}{2}}{2} = \frac{3}{4}$ di chilogramma sul centimetro

quadrato; e sullo stantuffo: $50 \times {}^3\!/_4 =$ chil. 37, 5; quale pressione percorrendo $^1\!/_4$ di metro, da *b* a *d*, dà: 37, 5 $\times 0^m,25 =$ 9, 375 chilogrammetri. Quando lo stantuffo sarà giunto in *f*, essendo lo spazio triplicato, la tensione sarà ridotta ad $^1\!/_3$, lo stantuffo comincerà dunque a muoversi da *d*, con 0,ch 5 di pressione, e giungerà in *f*, con 0,ch 333...; la pressione media è dunque:

$$\frac{0,5 + 0,\ 333...}{2} = 0,^{ch}\ 416;$$

e sullo stantuffo: $50 \times 0,^{ch} 416 = 20,^{ch} 8$; percorrendo questa forza $^1\!/_4$ di metro, il lavoro sviluppato sarà $20,^{ch}8 \times 0^m 25 = 5,2$ chilogrammetri. La tensione in *f*, è 0, 333; quando lo stantuffo perviene in *g*, essendo il volume quadruplicato, la tensione sarà ridotta ad $^1\!/_4$ di quella iniziale, la media è dunque:

$$\frac{0,\ 333 + 0,\ 25}{2} = 0,^{ch} 291;$$

e la pressione sull'intiero stantuffo: $0,^{ch} 291 \times 50 = 14,^{ch} 55$; che per un quarto di metro sviluppa il lavoro di $14,^{ch} 55 \times 0,^m 25 = 3,\ 64$ chilogrammetri. L'intiero lavoro svolto dal vapore sarà dunque:

Nella 1ma	porzione	= 12,500	chilogrammetri.
» 2a	»	= 9, 375	»
» 3a	»	= 5, 200	»
» 4a	»	= 3, 640	»
In tutto . . .		30, 715	chilogrammetri.

Se invece di chiudere il robinetto ad $^1\!/_4$ del cammino, lo si lasci aperto per l'intiera gita, la quantità di lavoro

ottenuto sarà maggiore, ma la quantità di vapore sarà più ancora che in proporzione: infatti il lavoro ottenuto a tutta pressione sarebbe: 50 ch. $\times$ 1^{m} = 50 chilogrammetri; mentre operando l'espansione del vapore da $\frac{1}{4}$ di gita in poi, abbiamo veduto che si ottengono soli 30, 715 chilogrammetri. Ma a tutta pressione la quantità di vapore speso è: 50 c. q. $\times$ 100 = 5000 centimetri cubici; e se ne ottiene il lavoro di 50 chilogrammetri, per conseguenza ogni chilogrammetro costa: $\frac{5000}{50} = 100$ centimetri cubici di vapore. Chiudendo invece il meato ad $\frac{1}{4}$ di gita, si ottengono 30,715 chilogrammetri di lavoro, e si spende $\frac{1}{4}$ del volume del cilindro di vapore, cioè: $\frac{5000}{4} = 1250$ centimetri cubici: ogni chilogrammetro costa dunque: $\frac{1250}{30,715} = 40,69$ centimetri cubici di vapore.

Vediamo da questo còmputo che dilatando il vapore dalla tensione atmosferica fino ad $\frac{1}{4}$ di atmosfera, ne otteniamo un effetto utile, quasi due volte e mezzo maggiore di quanto se ne ottiene senza dilatazione alcuna.

Giova osservare che il metodo di computare le tensioni da noi adoperato, non è perfettamente esatto (1);

(1) Sappiamo infatti che il vapore, essendo fluido elastico imperfetto, non segue esattamente la legge di Mariotte (§ 30); e quindi le tensioni non stanno nel preciso rapporto inverso del volume; inoltre è manifesto che il metodo che abbiamo adoperato di prendere la media aritmetica fra le tensioni ne' varj stadj, non è il vero: quantunque si avrebbe un'approssimazione sempre maggiore supponendo sempre più piccoli gl' intervalli. Nella fig. 31, la linea spezzata diagonale rappresenta il limite delle linee che denotano le pressioni, come *b*, *c*, ecc., secondo il metodo approssimativo che abbiamo seguito; secondo la legge di Mariotte, tale linea sarebbe invece la curva iperbolica che vedesi punteggiata, che coincide con l'altra alle estremità degli intervalli, e che se ne distacca alquanto ne' punti intermedj. In oltre si sa che il vapore nel dar fuori lavoro meccanico, si raffredda e si restringe, in quantità proporzionata appunto al lavoro reso,

ma è abbastanza vicino alla verità perchè dia un' idea generale del principio dell'espansione.

Dilatando ancora più il vapore, cioè chiudendo la comunicazione colla caldaja anche prima che lo stantuffo abbia compiuta una quarta parte del suo cammino, si ottiene, teoricamente, un effetto sempre maggiore. Ma in pratica varie circostanze impediscono che si spinga assai oltre questo principio : siccome la tensione diminuisce sempre, è chiaro che più si dilata e più crescono le dimensioni del cilindro per un dato lavoro; e per la medesima cagione il vantaggio ottenuto va a scemare negli alti gradi di espansione. Un'altra circostanza pone limite all'economia ottenuta : sappiamo che la temperatura dei vapori è strettamente collegata alla loro tensione, sicchè un minoramento di tensione porta seco un abbassarsi della temperatura; il contatto del cilindro col vapore raffreddato per la dilatazione, produce un raffreddamento più o meno notevole del cilindro medesimo, e quantunque la camicia di vapore tenda a mantenere costante la sua temperatura, quando la differenza è grande, alla fine della gita l'interno del cilindro rimane un po' più freddo del vapore della caldaja. In conseguenza di ciò, una porzione del vapore che viene dalla caldaja pel ritorno dello stantuffo, si condensa sulle pareti del cilindro; questa condensazione sarebbe in sè medesima una perdita, ma ne induce un'altra maggiore: il cilindro alla fine del colpo rimane coperto (internamente) d'uno strato di acqua; e quando viene aperta la comunicazione al condensatore, essendo diminuita la pressione, quell'acqua entra sùbito in ebollizione, e per conseguenza raffredda ancora più il cilin-

e quindi per ottenere i valori veri della tensione ne' varj punti della gita, si deve mettere a calcolo anche questo elemento importantissimo.

Per altro sono tali e tante in pratica le sorgenti di perdita di cui non sappiamo tener conto, che un metodo approssimativo può valere, praticamente, quanto uno perfettamente esatto; e qui sarebbe fuori di luogo una investigazione complicata.

Digitized by Google

dro. Così dunque la perdita di calore non è limitata a quella quantità che riscalda il cilindro raffreddato pel contatto del vapore espanto, ma comprende pure quella occorrente a compensare al cilindro il calore perduto nella rievaporazione dell'acqua di cui si cuopre. Per questa cagione avviene che in pratica l'espansione di rado dà più che $1/2$ dell'economia denotata dalla teorica. Purnondimeno vedremo, trattando delle macchine moderne, come, adoperando tensioni iniziali elevate, e soprariscaldando il vapore si può trarre grande economia dall'espansione, poichè allora si può espandere notevolmente il fluido senza render troppo bassa la sua temperatura.

48. *Watt; cilindro a doppio effetto*, 1778. — Watt, evitando il raffreddamento del cilindro ed applicando il principio dell'espansione, portò ad un alto grado di perfezione la macchina a vapore; la forza poteva essere regolata colla massima precisione, sì strozzando che dilatando il vapore, e il consumo di combustibile era così limitato che il lavoro svolto dalla macchina costava meno di quello ottenuto dagli animali (1). Dimodochè essa macchina avrebbe potuto sostituire con gran vantaggio gli animali, in tutte le industrie aventi bisogno di una forza motrice. Ma nella maggior parte delle arti meccaniche si richiede un moto di rotazione, come nella filatura, nel molire i cereali, nel torniare, ecc.; la macchina di Watt, quale noi l'abbiamo finora studiata, era applicabile solamente alla produzione di un moto rettilineo; e ciò in una sola direzione, dall'alto in basso. Una volta recata a perfezione la sua macchina in questa forma, Watt si propose di renderla capace di produrre un movimento rotatorio, e renderla così applicabile con maggiore estensione. Il primo passo nel risolvere questo problema si era di far sì che lo stantuffo fosse spinto non solo dall'alto

(1) Le macchine da tromba del Watt erano da 3 a 4 volte più efficaci di quelle atmosferiche ordinarie; e due volte più di quelle di Smeaton.

Digitized by Google

in basso ma pure dal basso in alto; così si otterrebbe doppia forza da un cilindro dato, e lo stantuffo sarebbe sempre spinto dal vapore, ora in una direzione ora nella opposta. Siccome la pressione dei fluidi elastici opera egualmente in tutti i versi, bastava disporre le valvole in modo tale che il vapore fosse ammesso ora sotto ed ora sopra dello stantuffo. La fig. 32 rappresenta il cilindro adoperato da Watt e detto a doppio effetto, per esprimere che il suo stantuffo opera in ambo i versi; la fig. A ne mostra uno spaccato longitudinale, e la fig. B un alzato ad angolo retto col piano della fig. A: il tubo *a*, che reca il vapore dalla caldaja, si dirama e va ad unirsi in *b* e in *c* alle due scatole *d*, *e*; queste scatole comunicano l'una col sopra, l'altra col sotto del cilindro; e la parte inferiore di tutti e due viene unita al tubo *f*, che porta al condensatore. Le comunicazioni fra le parti superiori delle scatole e il cilindro, possono esser chiuse dalle valvole *g*, *h*; e quelle del cilindro col condensatore vengono intercettate, volendo, dalle valvole *i*, *l*; l'asta della valvola *g* è forata nella sua lunghezza, e l'asta di *i* penetra attraverso quel foro e sorte al di fuori, dimodochè una qualunque delle due valvole può venir mossa indipendentemente dall' altra. Una scatola a trecce impedisce il passaggio di vapore intorno all'asta di *g*; ed una seconda, attaccata all'asta medesima, circonda l'asta di *i*. Il congegno delle due valvole della scatola inferiore è precisamente eguale al già descritto. Ciò posto, si suppongano le valvole nella posizione indicata nella figura: la valvola *h* impedisce al vapore l'entrata al sotto del cilindro, la valvola *l*, essendo aperta, permette al vapore o all'aria nella parte *m*, di scappare nel condensatore; dimodochè sotto lo stantuffo vi sarà la tensione del condensatore, sopra vi sarà quella della caldaja; per conseguenza lo stantuffo sarà spinto in giù. Un po' prima che esso sia giunto al fondo del cilindro, viene cangiata la posizione delle valvole: *g* ed *l* vengono chiuse, *i* ed *h*, ven-

gono aperte; allora il vapore dalla caldaja penetra sotto lo stantuffo, e nel tempo stesso quel vapore che riempiva il sopra dal cilindro, sfugge nel condensatore per *i*; lo stantuffo perciò sarà spinto verso l'alto dalla pressione nella caldaja; e avendo al di sopra solamente la pressione del condensatore, vien spinto dal basso in alto con forza eguale, astrazion fatta del peso, a quella che lo spinse giù. Mediante questo congegno di valvole si ottiene dunque che lo stantuffo sia spinto in ambo i versi con egual forza.

Nella macchina a semplice effetto la forza del vapore veniva trasmessa al bilanciere mediante una catena che s'avvolgeva sopra un arco attaccato al medesimo: ma è chiaro che una tale catena sarebbe assolutamente inetta alla trasmissione d'una spinta, poichè, invece di comunicare la forza, essa si piegherebbe. Nella macchina a doppio effetto era necessario per tanto provvedere un agente capace di trasmettere la forza sì spingendo che traendo. La prima idea del Watt si fu di fissare sull'arco del bilanciere un settore dentato i cui denti imboccassero in quelli di un'asta dentata attaccata a quella dello stantuffo; così il movimento dell'asta, in ambo i versi, verrebbe comunicato al bilanciere. Ma si trovò in pratica che, cangiando in ogni colpo la direzione del moto, i denti non mantenevansi sempre in contatto, epperò avveniva in ogni cangiamento di direzione un urto che avrebbe presto distrutto il meccanismo. Abbandonata per ciò tale idea, si attaccò l'asta dello stantuffo al bilanciere mediante una spranga, articolata in ambe le estremità. Fig. 33: — Il bilanciere *a b c*, oscilla intorno al pernio *b*; ed alla sua estremità *a*, è articolata la spranga *a d*, che l'unisce all'asta dello stantuffo; siccome l'estremità del bilanciere percorre l'arco *a e f*, così è chiaro che la spranga *a d* non può mantenersi sempre in unica retta con l'asta. La deviazione del bilanciere dalla retta è rappresentata dalla freccia dell'arco descritto; quindi

per far si che tale deviazione sia divisa da un lato e dall'altro, l'asta si situa talmente che la sua continuazione andrebbe a tagliare nel mezzo quella freccia ; pur non di meno nel centro ed alle estremità del cammino la spranga articolata *a d*, fa un angolo notevole con l'asta dello stantuffo.

Allorquando due forze traggono un punto in direzione contraria, e non sono in linea retta, esse dànno origine ad una terza forza in direzione differente e dall' una e dall'altra; e questo appunto avviene nella trasmissione di forza al bilanciere, come vedesi chiaramente nella fig. 34; *a b* rappresenta l'asta dello stantuffo; *a c* la spranga che la unisce al bilanciere: supponiamo l' asta tratta in giù dal vapore; e rappresentiamo con la linea *e* la forza che la trae; la resistenza dev' essere eguale alla forza in ogni dato istante; e tale resistenza può rappresentarsi da una forza in direzione contraria; la direzione della resistenza è determinata da quella della spranga *a c;* facendo $d = e$, e costruendo il paralellogrammo delle forze, troviamo che le due forze *e* e *d* tendono a risolversi nella forza *f;* esse dunque farebbero sull'asta una forza laterale nella direzione e dell'intensità di *f*, quale forza, se non fosse resistita, piegherebbe l'asta; ed essendo che la spranga si inclina ora da un lato ora dall' altro, l' asta verrebbe piegata ora a destra ora a sinistra in ogni colpo della macchina. Un tale piegamento non solo produrrebbe grande attrito nella scatola a trecce, ma ben presto inutilizzerebbe l'asta. È necessario dunque un meccanismo il quale nel tempo medesimo che permetta all'asta di muoversi verticalmente , resista alle forze laterali, ed impedisca la curvatura dell'asta.

49. *Watt; Guida Articolata; Paralellogrammo*, 1784. — Le guide delle macchine a vapore moderne constano quasi sempre di superficie stropiccian tisi; ma allorquando Watt trovò la macchina a rotazione, egli non aveva i mezzi di produrre tali superficie piane abbastanza esatte;

gli fu mestieri, dunque, inventare un altro modo di guidar l'asta, e conseguì lo scopo per mezzo di un sistema di spranghe articolate che porta il suo nome, e che si adopera pure oggi in talune circostanze. La fig. 35 rappresenta questa *guida articolata* di Watt: sia *a b* la linea su cui si vuol guidare l'asta; ad un pernio fisso a ciascun lato sono articolate due aste; nella figura se ne vede una sola ad ogni lato *c d*, *e f*, essendo che le altre due rimangono dietro di queste. Le due coppie sono unite da una doppia spranga *g h;* tutte queste parti sono fatte doppie, affinchè l'asta possa stare nel mezzo di esse. I punti fermi sono stabiliti in modo che le aste *c d*, *e f*, nell'oscillare passino la linea retta egualmente da ambo i lati. Nella posizione della figura, il perno *d* è tanto a destra della linea quanto il perno *f* ne è a sinistra; segue evidentemente che un punto nel mezzo del pezzo connettore *g h*, debba coincidere colla retta. All'estremità superiore del cammino, *f* sarà a destra quanto *d* sarà a sinistra, epperò anche qui il punto centrale del connettore coinciderà colla retta. Lo stesso avviene all'estremità inferiore del cammino. Se la distanza fra le spranghe articolate fosse sempre la stessa, se gli archi descritti in un dato tempo fossero della medesima lunghezza per tuttadue le coppie, è chiaro che allora in tutte le posizioni le estremità sarebbero egualmente discoste dalla retta (quando non coinciderebbero su di essa), ed a' lati opposti, epperò il centro del connettore si troverebbe sempre esattamente sulla linea retta. Ma essendo che il connettore va prendendo inclinazioni sempre diverse, così la sua vera lunghezza varia, e gli archi percorsi dalle due coppie non sono perfettamente eguali; sicchè il centro del connettore non descrive una vera linea retta ma una linea sinuosa che taglia la retta nei punti estremi e nel mezzo del cammino. Tuttavia quando il movimento non è troppo esagerato rispetto alla lunghezza delle spranghe, il cammino si avvicina tanto al

rettilineo da potervisi praticamente confondere: l'elasticità dei pezzi basta a compensarne l'errore; e quindi per guidare l'asta la si articola ad un perno fissato nel mezzo del connettore *g h*. Nelle macchine a vapore a bilanciere, Watt aggiunse al congegno in parola un sistema di aste che formano con esso un paralellogrammo articolato, e serve per trasferire ad altri punti il moto rettilineo ottenuto col mezzo or ora descritto. Eccone il congegno ed il modo d'operare: — Siano *a b*, *c d*, fig. 36 le due spranghe unite dal connettore *b d;* e sia *e* il punto di questo che percorre un cammino rettilineo. Sia prolungata la spranga *a b*, sino al punto qualunque *g;* (*a g*, come vedremo or ora, costituisce la metà del bilanciere); su *g* si tiri la retta *g h* paralella a *b d*, e lunga tanto da intersecare la retta *a e h*, passante per *a* e per *e*. Fatto ciò facciamo *h i* paralella a *g b*, ed avremo il paralellogrammo *b g h i b*. Supponiamo che questo parallelogrammo sia formato di spranghe rigide ed articolate alle estremità; allora niuna cosa impedirà il moto del bilanciere intorno ad *a*, e di tutto il congegno; il punto *e* descriverà la retta *e f* come prima; vediamo adesso di qual natnra sarà il moto del punto *h*. Essendo *a b g* unica retta, ed essendo che *g h* e *b e* son paralelle, i due triangoli *a b e* ed *a g h* sono simili; le condizioni di similitudine non cangiano pel moto di *a g* intorno ad *a*, poichè perdura sempre il paralellismo di *g h* ed *e b*. Sia *a b' g'* il bilanciere in un' altra posizione; sappiamo che il punto *e* deve trovarsi sempre sulla *e f*, sia dunque in *e';* dicemmo che la similitudine dei triangoli non cangia col cangiamento di posizione, ed abbiamo quindi che anche in questa seconda positura i triangoli *a b' e'*, ed *a g' h'*, son simili. Ne segue che $a\ b : a\ g = a\ b' : a\ g' = a\ e : a\ h$, (poichè $a\ e : a\ h = a\ b : a\ g$); e siccome $a\ e' : a\ h' = a\ b' : a\ g'$, così $a\ e' : a\ h' = a\ e : a\ h$; da questo è evidente che unendo *h* con *h'* ed *e* con *e'*, le due rette risultanti saranno paralelle; ed essendo che

possiamo immaginare il sudetto ragionamento per una posizione qualunque di *e'* sopra *e f*, è chiaro che il punto *h* si muoverà sempre paralellamente alla linea *e f*. Esso può dunque servire come *e* a guidare un' asta in un cammino stabilito.

Da questa modificazione la guida articolata fu detta pure paralellogrammo di Watt.

La fig. 37 rappresenta le forme e le proporzioni date ordinariamente alla guida di Watt. Le lunghezze *a b*, *c d*, (che rispondono a quelle segnate con le medesime lettere nella fig. precedente) si sogliono fare eguali alla metà del mezzo bilanciere *a g*, sicchè il punto fermo *c* viene a trovarsi in linea con l'asta dello stantuffo; e riescono di egual lunghezza *e d* ed *i h*, la qual cosa rende più agevole la costruzione meccanica; al punto *e* suole articolarsi l'asta *f* della tromba ad aria. S' intende che essendo in linea *a e* ed *h*, quest'ultimo punto si muoverà paralellamente ad *e*, sieno qualisivogliano le proporzioni. S'intende pure che nella guida articolata, fig. 35. non è necessario che le spranghe *c d*, *e f*, abbiano eguale lunghezza; se non che dove sieno di lunghezza diversa, il punto che descrive la retta, invece di dividere nel mezzo il connettore, lo dividerà in parti inversamente proporzionate alle lunghezze delle spranghe; così se *dc* sia due volte più lungo di *ef*, il punto che descrive la retta sarà a un terzo del connettore da *d* e a due terzi da *f*.

Digitized by Google

LEZIONE XI.

50. Watt; Macchina a Rotazione, 1784. — 51. Watt; Regolatore a Forza Centrifuga. — 52. Oliver Evans; 1786. — 53. Da Watt in poi.

50. *Watt; Macchina a Rotazione*, 1784.—Trovato il mezzo di far spingere lo stantuffo dal vapore in ambo i versi, e di trasmettere il movimento al bilanciere, era facile immaginare la maniera di ottenere un moto rotatorio dalle oscillazioni di questo: conosciamo tutti il meccanismo antichissimo dell'arrotino, che facendo oscillare col piede una leva, ottiene, mediante una manovella ed una ruota volante, la trasformazione di questo moto d'andivieni nella rotazione continua dell'albero. E il caso della macchina a vapore è simile, anzi più vantaggioso, poichè l'arrotino spinge la sua leva solamente in un verso, e il vapore, mercè al cilindro a doppio effetto di Watt, la spinge tanto in su che in giù. E difatto Watt applicò al suo primo modello la manovella dell'arrotino: dispose lo albero sotto l'estremità libera del bilanciere, e ad angolo retto con questo, in modo che il perno del bilanciere restava fra il cilindro e l'albero; e sopra una estremità operava lo stantuffo, e all'altra era articolato un connettore che andava ad unirsi al perno della manovella, la quale era situata giusto sotto l'estremità del bilanciere, sì che movendosi questa su e giù, nel salire traeva la manovella, nel discendere la spingeva, e l'albero ne era

Digitized by Google

costretto a roteare. Ma Watt trascurò di difendere con privativa questa sua applicazione, e un operajo, che gliene aveva costruito il modello, lo tradì, svelando il segreto ad un costruttore rivale (Wasbrough) che ne ottenne lui privativa, di guisa che Watt si trovò dispogliato della sua invenzione; pure disdegnando di venire ad un litigio, trasse dalla ricca miniera del suo ingegno altre guise diverse di conseguire lo scopo prefisso. Fra cui adoperò quella da lui detta delle « ruote a sole e pianeta, » che non ci occorre descrivere poichè oggidì non è in uso nelle macchine a vapore; e infatti lo stesso Watt usò questo meccanismo solamente nel periodo in cui ebbe forza di privativa la Wasbrough, indi ritornò all'idea prima, più semplice e più efficace.

La fig. 38 rappresenta la manovella che adoperò Watt, e che si adopera quasi universalmente in oggi, per trasformare il moto d'andivieni in moto continuato di rotazione: — Sull'estremità dell'albero *a*, al quale vuol comunicarsi il moto rotatorio, viene imbiettata una forte leva *a b*, detta manovella o manubrio, al perno *b* della quale è articolata un'asta che va ad unirsi all'altra estremità, anche con articolazione, al bilanciere; l'albero è appoggiato talmente da non si poter muovere tutto insieme, ma è libero nel tempo medesimo di roteare intorno al proprio asse; in conseguenza di ciò il perno *b* non può percorrere altro cammino che la circonferenza *b f e d b*. Se mentre *a b* si trova orizzontale operi sopra *b* una forza verticalmente dall'alto, potendosi supporre che, per un piccolissimo cammino di *b*, l'arco percorso sia un prolungamento della verticale, quella forza tenderà solo a produrre rotazione. Ma una volta reso sensibile, pel girare dell'albero, l'angolo della *a b* con la orizzontale, la direzione della forza, supposta sempre verticale, non coincide più con quella in cui può muoversi *b*; bisogna dunque che la forza si scomponga, si risolva,

e operi solamente in parte a promuovere la rotazione e in parte a spostare l'albero. Ma sappiamo che qualunque forza che tenda a quest'ultimo effetto, non può svilupparsi, in virtù degli appoggi che le resistono completamente; tuttavia essa rimane inutile in quanto alla rotazione, e infatti riesce nociva, perchè, spingendo l'albero su' cuscinetti che lo sostengono, dà luogo ad attrito più o meno grande.

La fig. 39 mostra come si risolve la forza, in talune posizioni della manovella: nella posizione *a b* non avviene scomposizione, essendo che quivi il cammino circolare risponde alla direzione della forza; giunta la manovella in *a c*, rappresentando con la verticale *c d* la forza fatta dal connettore, e con la retta *c e* l'arco di circolo percorso dal pernio, costruendo il paralellogrammo troviamo che la forza *d c* spinge il pernio circolarmente con una intensità proporzionata a *c e;* e secondo la manovella con una intensità come *c f;* e s'intende che quest'ultima forza va equilibrata o distrutta, come dicono i meccanici, da' cuscinetti. Quando la manovella sarà in *a g*, l'eguale forza *g h* si scomporrà come segue: una quantità proporzionata a *g l*, spingerà il pernio lungo il circolo, e una quantità proporzionata a *g i*, tenderà a spostare l'albero. Si vede da ciò che quanto più si avvicina la manovella alla direzione della forza che la spinge, tanto maggiore diviene la tendenza di questa forza a rimuovere l'albero, e tanto minore quella a farlo volgere: e infatti pervenuta la manovella alla posizione verticale *a m*, la forza non ha più alcuna tendenza a produrre rotazione, perchè allora non si scompone, e non fa altro se non spingere l'albero in giù; qualunque forza applicata al pernio dell'alto in basso, o dal basso in alto, in questa positura, sarebbe per conseguenza assolutamente inetta a far roteare l'albero. Quando la manovella è sull'altro lato del circolo, una forza verticale operante dal

Digitized by Google

basso in alto produrrebbe la rotazione dell'albero nel medesimo verso di prima; e la forza utile va crescendo fin quando la manovella diviene orizzontale, e allora opera tutta nel verso della rotazione, scomponendosi nuovamente quando è varcato il punto mediano del cammino e la manovella si avvicina alla verticale; in *a n* la spinta si divide così : *n o* tende alla rotazione dell'albero, ed *n p* a trarlo nella direzione *a n;* quando la manovella viene in *q: q r* tende alla rotazione, *q s* tira l'albero secondo *a q*. Anche qui la spinta circolare va diminuendo coll'avvicinamento della manovella alla verticale, e toccata questa posizione si rende affatto nulla.

Il moto d'andivieni dell'estremità del bilanciere fornisce appunto la spinta verticale ora in giù ora in su che abbiamo supposto (1); e però articolando un'asta rigida al bilanciere ed al pernio della manovella, questa riceve un impulso a roteare, più o meno forte in tutte le posizioni, eccetto tuttavia quelle in cui si dispone in linea col connettore, come in *d* ed in *f*, fig. 38. La manovella può dunque servire a far volgere l'albero continuamente tutta volta che sia ajutata da qualche agente che continui la rotazione dell'albero quando essa trovasi sui così detti *punti morti* : cioè quando si dispone nella direzione della forza. E questo agente suol essere una grande ruota, che dicono volano o volante, imbiettata sull'albero. Sappiamo che, a cagione dell'inerzia, per muovere un grave occorre dotarlo d'una quantità di forza, di lavoro meccanico, proporzionata alla sua mole ed alla sua velocità; e

(1) A vero dire la spinta fornita dal bilanciere non è esattamente verticale, come la forza che abbiam supposta in questa investigazione, nè si mantiene sempre paralella a sè stessa; opera invece in direzione variabile e più o meno obliqua, per esser l'asta connettrice articolata ad una estremità al bilanciere mentre l'altra segue l'orbita descritta dal pernio. Per altro l'effetto è il medesimo, se non che il punto di massima forza, invece di coincidere con la posizione orizzontale della manovella, accade quando questa si dispone ad angolo retto col connettore.

Digitized by Google

che per fermarlo fa mestiere togliergli quella forza. Per dar movimento al volano è necessario dunque un certo lavoro meccanico, il quale lavoro resta racchiuso, per così dire, nel volante medesimo; e viene fornito dal vapore mediante la manovella, in quella parte del cammino in cui havvi una componente nella direzione circolare. Giunta la manovella al punto morto, il volante, in virtù della forza statagli conferita, continua a roteare, e trae seco lui l'albero e la manovella, la quale in conseguenza assume una posizione dall'altro lato del punto morto in cui può nuovamente trasformare la forza, comunicatale allora in direzione inversa. Così, dunque, ne' punti morti il volante muove l'albero e la manovella, ed in tutte le altre parti del cammino egli è spinto a maggiore velocità dal vapore, mediante la manovella medesima.

Siccome in una macchina a rotazione la resistenza è a un dipresso costante per tutto il giro, così il volante non solo deve far passare la manovella per i punti morti, ma durante che essa è inerte, e che per conseguenza il vapore non può operare utilmente sull'albero, egli deve fornire la forza necessaria a muovere la macchina. Ed è pure utilissimo per rendere equabile il moto: abbiamo veduto che la forza fatta circolarmente dal vapore varia di intensità da un punto all'altro, e ne risulterebbe un moto anch'esso variabile; se non che il volante resistendo per la propria inerzia tanto all'accelerazione quanto al ritardo, mantiene più o meno costante la velocità: e quanto maggiore equabilità occorra in una macchina, tanto più grave dobbiamo fare il volante.

In quelle macchine in cui non sarebbe ammissibile questa grande ruota, come nelle navi, e nelle locomotive, per far passare i punti morti alla manovella e per agguagliare il moto, si adoperano, come vedremo più innanzi, due cilindri operanti sul medesimo albero, e con le rispettive manovelle disposte ad angolo retto, dimo-

dochè quando una di esse è sul punto morto, l'altra sarà al punto di massima forza: e questa idea delle due macchine operanti sopra unico albero, è pure di Watt.

51. *Watt: Regolatore a Forza Centrifuga*, 1784. — Mantenendosi costante la tensione nella caldaja, se la resistenza da esser vinta dalla macchina cresce o scema, la velocità verrà diminuita od aumentata in proporzione. Sotto tali circostanze il numéro dei giri conseguiti dall'albero in un dato tempo sarà maggiore o minore secondo la resistenza più o meno grande. Dall'altro lato, supposta costante la resistenza da vincersi, un cangiamento nella tensione del vapore produrrebbe anch'esso una variazione nel numero de' giri. Essendo d'importanza in molti casi che la velocità sia uniforme, o almeno che le variazioni di essa sieno limitate, Watt inventò un ingegno capace di far cangiare la tensione del vapore nel cilindro in modo da compensare a' cangiamenti di resistenza. La fig. 40 rappresenta questo congegno, detto *regolatore a forza centrifuga:* — Sia *a b* una porzione del tubo che conduce il vapore dalla caldaja al cilindro; esso è passato da un piccolo albero su cui è fissato un disco di forma simile alla sezione trasversale, ma un poco obliqua, del tubo; è quindi alquanto ellittico; quando la posizione angolare dell'alberetto è tale che il disco risponde alla sezione del tubo, il meato di questo viene del tutto chiuso; ma quando l'albero vien volto in modo che le faccie del disco si dispongano paralellamente all'asse del tubo, il disco occupa solo una piccolissima parte del passaggio, presentando la sua spessezza. Facendo roteare dunque di un poco meno di un quarto di circolo l'alberetto che porta il disco, si ottiene l'intiera chiusura o l'intiera apertura del meato. S'intende che le posizioni intermedie daranno un'apertura più o meno ristretta secondo che sieno più vicine all'una o all'altra delle posizioni estreme. In *c* abbiamo più in grande uno

spaccato longitudinale, ed in *f* uno spaccato trasversale del tubo con la valvola a disco: come si vede, l'albero dal lato in cui esce dal tubo è circondato da una scatoletta a trecce, per impedire la fuga del vapore.

L'albero verticale *d e*, viene animato, per un espediente qualunque, di movimento di rotazione eguale o proporzionato a quello dell'albero principale della macchina; le due leve pènsili *g h*, ed *i l*, che sono munite delle pesanti sfere *h*, *l*, alle estremità, sono articolate all'albero in *g*, *i*, e girano con esso. Un collaro *m*, scorrevole sull'albero, è unito, mediante piccoli connettori, alle leve pènsili, e in una scanalatura circolare praticata tutt'intorno al medesimo penetrano le estremità arrotondate del bracio *n m*, biforcato ad *U*, e mobile intorno al pernio fermo *n*; l'altro braccio *o*, imbiettato sullo stesso perno, viene attaccato alla manovella della valvola a disco, mediante l'asta *o p*. Se per una cagione qualunque le sfere si allontanassero dall'albero, il collaro *m* verrebbe tratto in su, e trascinerebbe seco la punta biforcata della leva *n m*, tirando nel tempo medesimo l'asta *o p* verso la sinistra, e tale movimento farebbe piegare anche la manovella *p* verso la sinistra, e la valvola, come si vede dalle linee punteggiate, è disposta in guisa da chiudersi con tale movimento della manovella. Ogni qual volta dunque le sfere si allontanano dall'albero, quell'allontanamento produce la chiusura più o meno completa del meato del vapore; e all'incontro, quando le sfere si avvicinano all'albero, tale avvicinamento opera l'apertura del meato.

Vedremo adesso che un aumento di velocità nella rotazione dell'albero *d e*, cagiona un proporzionato allontanamento delle sfere, e che una diminuzione di velocità produce l'effetto inverso.

E difatto in virtù della forza centrifuga tutti i gravi animati di moto di rotazione tendono ad allontanarsi dal-

l'asse intorno al quale ròteano; la potenza della forza centrifuga cresce col crescere della velocità. Roteando l'albero *d e*, e con esso le sfere, queste per la forza centrifuga tendono ad allontanarsi dall'asse di rotazione, e però dall'albero. Ma essendo rigidamente fissate alle leve, nell'allontanarsi sono costrette a descrivere un arco intorno ai punti di sospensione, e quindi più si dilungano dall' asse e più devono elevarsi nel tempo medesimo; e in conseguenza di ciò la forza centrifuga non solo ha da vincere l' inerzia delle sfere, ma bensì una parte del loro peso. Ora questo peso quantunque in sè stesso costante, è sostenuto parzialmente da' pernj *g*, *i*, ed essendo la parte così sostenuta variabile con le varie posizioni delle sfere sull' arco percorso, il peso da vincersi dalla forza centrifuga è variabile anch'egli. Infatti se le leve si disponessero verticalmente, tutto il peso delle sfere sarebbe sostenuto da' pernj, e ciò mostrerebbe non essere in opera altra forza che la gravità; al contrario se una forza qualunque mantenesse le leve in posizione orizzontale, è chiaro che in quel caso i pernj non sosterrebbero nulla del peso, e per conseguenza quella forza qualunque dovrebbe esser lei necessariamente capace di sostenerlo affatto. Vediamo dunque che la forza occorrente a mantener sospese le sfere, varia colla posizione angolare delle leve; e però tale posizione angolare delle leve, ossia la situazione delle sfere sull'arco descritto, misura l'intensità della forza disturbatrice; e quanto più elevate sieno le sfere, tanto più possente sarà la forza centrifuga che le spinge. Ma l'intensità di questa forza varia con la velocità di rotazione, col numero de' giri; secondo che questa cangia, dunque, le sfere si allontanano o si avvicinano all'albero, in virtù dell'aumento o della diminuzione della forza centrifuga. E sappiamo già come il dilungarsi delle sfere chiude l'adito al vapore, e come l'avvicinamento lo apre.

Digitized by Google

Supponiamo che con la regolare celerità della macchina le sfere si mantengano nella posizione *h, l,* e che questa posizione risponda ad un' apertura della valvola a disco, sufficiente a lasciar passare tanto vapore da rendere adeguata la pressione nel cilindro alla resistenza da vincersi. Continuando ad essere costanti la resistenza e la tensione del vapore nella caldaja, la velocità della macchina si manterrà pure costante. Ma se cresce la resistenza o diminuisce la tensione, la velocità della macchina diminuirà; diminuirà quindi la velocità con cui girano le sfere del regolatore, la qual cosa le farà avvicinare per la diminuzione della forza centrifuga e la conseguente preponderanza della gravità, e ne verrà aperto maggiormente il meato del vapore; allora resa più libera la comunicazione fra cilindro e caldaja, si aumenterà la pressione nel cilindro, e verrà ripristinata la velocità regolare della macchina. Se, al contrario, diminuisce la resistenza, o cresce la tensione nella caldaja, la velocità della macchina aumenta; ma le sfere si allontanano, e strozzando parzialmente il passaggio al vapore, fanno diminuire la pressione sullo stantuffo e così vien corretto, o a meglio dire vien limitato, l'aumento di velocità. S' intende esser necessario sempre che nella caldaja vi sia un certo eccesso di pressione; affinchè il regolatore, aprendo di più la valvola, possa far aumentare la pressione nel cilindro.

Il regolatore di Watt, che si adopera anche oggidì in molti casi, serve dunque a limitare le variazioni della velocità; nelle macchine ordinarie tali variazioni sono limitate dal regolatore infra $\frac{1}{20}$; nelle migliori condizioni esso può limitarle ad $\frac{1}{40}$. Ed è chiaro che nessun regolatore potrà mantenere la velocità esattamente uniforme, poichè le variazioni medesime inducono la correzione.

52. *Oliver Evans*, 1786. — Mentre Watt recava ad

alta perfezione comparativa la macchina a vapore a condensazione e ad espansione, non solamente con le scoperte principali che abbiamo accennato, ma con altre accessorie ancora, come il *contatore* per registrare il numero de' colpi dati dalla macchina, l'*indicatore* per denotarne la forza e che descriveremo a suo luogo, ecc. Oliver Evans in America recava a forma pratica e cercava di mettere in uso la macchina senza condensazione, di cui Leupold, nel 1725 (§ 43), aveva enunciato l'embrione. E benchè fosse evidente il maggior pericolo delle caldaje ad alta pressione in quei tempi in cui l'arte delle meccaniche costruzioni era nell'infanzia, pure l'idea di ottenere tanta potenza con mezzi così semplici, piacque agli Americani, tanto che ivi ebbe maggior sviluppo questa macchina; e pure oggi la macchina senza condensazione, col vapore ad altissime tensioni, si trova più in America che altrove, anche ne' piroscafi dei laghi e dei fiumi; non ostante che il tremendo fenomeno dello scoppiar delle caldaje si ripeta, a quanto dicesi, troppo sovente in quelle contrade: e forse mostra una specie di abitudine al pericolo, prodotta dall'uso dell'alta pressione da molto tempo. In ogni modo, dice Scott Russell: « Ad Oliver Evans dobbiamo riconoscere il rapido progresso dell'America nel principio del presente secolo, in tutto che riguarda alla macchina a vapore e le sue applicazioni, e singolarmente alla navigazione a vapore. Egli destò nei suoi compatriotti un vivo senso dei vantaggi che potrebbero derivare dalla forza del vapore, e pose nelle loro mani una macchina bene adatta a' loro bisogni, e di cui non furon tardi a fruire » (1).

Giova notare per altro che l'americano Fulton, a cui dobbiamo lo stabilimento pratico della navigazione a va-

(1) *Treatise on the Steam-Engine*, p. 140.

Digitized by Google

pore come arte di commercio, adoperò ne' suoi piroscafi macchine di Watt.

53. *Da Watt in poi.* — Dall'epoca di Watt sino ad oggi nessun cangiamento essenziale è stato fatto alla macchina a vapore. Col variare degli usi a' quali l'abbiamo applicata, e col perfezionamento conseguito nell'esecuzione, ne abbiamo potuto variare in mille guise le forme, e ci è stato possibile ottenerne un effetto utile maggiore. Ma nessuna modificazione si è introdotta così importante da esser ricordata in questo schizzo, nel quale abbiamo accennato le sole epoche principali della storia del vapore (1).

E si vedrà nel sègnito come infatti nelle macchine moderne non abbiamo se non lo sviluppo più completo delle idee di Watt: i principj di base sono sempre quelli da lui scoperti. Noi ne abbiamo fatto un'applicazione più estesa, ma non abbiamo trovato nulla di essenzialmente diverso, nulla che stia alla macchina di Watt come questa alle atmosferiche.

Ma l'averci Watt lasciata così completa la macchina a vapore, non vuol dire che essa sia giunta alla sua piena perfezione: la Teoria Dinamica del calore ci dice che essa ne è invece lontana assai. Questa teorica, ancor bambina ma pur nondimeno importantissima, stabilisce i veri rapporti fra il calore prodotto dal combustibile impiegato a generar il vapore, e il lavoro meccanico svolto dalla macchina: ci mostra che tutto il meccanismo non fa se non trasformare il lavoro meccanico sviluppato nel

(1) Scrive un mio maggiore: « Tuttavia dobbiamo convenire che in questi giorni di progresso meccanico, niente di intrinsecamente nuovo o importante si è conseguito in questo grande strumento della moderna civilizzazione; e siamo quasi costretti a pensare che la macchina di Watt sortisse dal colossale intelletto del suo inventore, come Minerva dal cervello di Giove, già adulta e in completa armadura. » J. Gill, *Thermodynamics of Elastic Fluids.*

fuoco e che ha forma di moto delle particelle, nel movimento di un bilanciere, di un albero, ecc. Sicchè nel fornello mettiamo calore, dalla macchina ricaviamo lavoro meccanico, che viene appunto da quel calore, anzi è quel medesimo sotto altra forma; ora è chiaro che la macchina per essere del tutto perfetta dovrebbe pigliarsi *tutto* il calore del fuoco e trasformarlo *tutto* in lavoro. Invece le nostre macchine prendono dal fuoco solamente una porzione del calore, e di questa porzione ne trasformano pochissimo: sì che le nostre migliori macchine d'esperimento dàn fuori appena $1/12$ dell'effetto del fuoco, (1) e la maggior parte di quelle adoperate nell'industria rendono per ordinario $1/20$ e più spesso $1/30$ del lavoro fisico svolto nel fornello.

Questo non significa che le nostre macchine brucino trenta volte più carbone di quanto dovrebbero; poichè la teorica mostra che sarebbe impossibile a qualsiasi congegno l'utilizzare affatto il calore: ci vorrebbe un'espansione portata all'infinito, e circostanze di temperatura del tutto incompatibile co' nostri mezzi materiali. Tuttavia siccome gran parte della perdita nelle macchine attuali è dovuta a cagioni fortuite, così è da sperarsi un notevole aumento d'effetto utile. Tanto più che corre immensa differenza tra quello che si è ottenuto in alcuni casi e quello che ordinariamente si conseguisce. La teorica denota che il risparmio di combustibile è da cercarsi nell'espansione assai spinta; si sa per altro che più si espande il vapore e più si raffredda il cilindro, tanto che nelle condizioni ordinarie si ha un limite pratico all'aumento di effetto utile; e per gli alti gradi di

(1) Hirn ottenne circa un ottavo del lavoro dovuto al calore del vapore; ma nella caldaja ci è sempre una perdita notevole che dobbiamo aggiungere, sì che un ottavo del calore nel vapore non rappresenta più di un dodicesimo di quello del fuoco.

Digitized by Google

espansione è necessario adoperar sopprariscaldato il vapore, affinchè possa meglio comportare il raffreddamento.

La via in cui sembra progredire la macchina a vapore sarebbe dunque: aumento di tensione nel vapore; espansione assai spinta; mezzi d'impedire le perdite fortuite, e principalmente la condensazione del vapore nel cilindro.

Digitized by Google

APPENDICE ALLA LEZIONE XI.

Compendio delle lezioni sulla Storia della Macchina a Vapore.

32. Nella Spiritalia di Erone d'Alessandria (120 A. C.) troviamo le prime notizie della forza elastica del vapore, come pure della sua applicazione a produrre movimento meccanico. Nell' Eolipila vien fatta volgere una sfera per la reazione di vapore affluente da orifizj. In un'altra macchina descritta da Erone la forza espansiva del vapore solleva un liquido, facendolo scorrere ad un livello superiore. Questi ingegni, quantunque privi di scopo utile, mostrano che la forza elastica del vapore e dell' aria riscaldata era ben nota agli antichi saggi, almeno come fatto materiale.

33. Da' tempi d'Erone fino alla scoperta della stampa nulla si rincontra sul nostro argomento, essendo che le scienze naturali rimasero tutto quel tempo presso che sopite. Giovan Battista Porta (1601) descrive un ingegno da misurare la mole relativa del vapore svolto dall'acqua. È notevole per essere forse la prima esperienza fisica intorno al vapore; per altro non ha importanza alcuna.

34. Salamone de Caus (1615) descrive una fontana il cui zampillo veniva elevato dalla pressione del vapore. Essa denota solamente una conoscenza del fatto della forza espansiva; ma niente di nuovo.

35. Nel 1629 Branca descrive una macchina a rotazione operante per l'impulso del vapore. L'idea non offre nulla di pregevole; solo è da notare che Branca, pel primo, probabilmente, tentò l'applicazione utile della forza del vapore.

36. Fu di grande giovamento al graduale sviluppo delle conoscenze che condussero all' invenzione della macchina a vapore, la scoperta della pressione atmosferica fatta da Tor-

ricelli, 1630; e più ancora le esperienze di Ottone de Guericke, che la dimostrano in maniera più evidente.

37. In un'opera stampata nel 1663 il Marchese di Worcester descrive una sua macchina a vapore che sembra aver dato prove sorprendenti. Ma la descrizione è assai imperfetta, sì che non possiamo farci un'idea chiara di questa macchina, e sappiamo solo che sollevava grandi moli di acqua mediante il vapore. Non fu mai applicata utilmente a quanto pare.

38. Intanto gli scienziati, colpiti dagli esperimenti di Guericke, cercavano mezzi di produrre uno spazio vuoto di aria, per indi trarre partito dalla pressione atmosferica. Huyghens propose di ottenere l'intento mediante l'esplosione di polvere da cannone in un cilindro.

39. Ma Papin (1695) lavorando nella via medesima ebbe l'idea felicissima di formare il vuoto mediante la condensazione del vapore sotto uno stantuffo. E fu il filo che guidò in ultimo alla macchina a vapore a condensazione. È incerto se Papin abbia o pur no messo in pratica il suo trovato; ma in ogni modo i mezzi ch'egli si proponeva d'impiegare erano del tutto inadeguati a dare un risultamento pratico: poichè voleva vaporizzare l'acqua e condensare il vapore dentro il cilindro medesimo.

40. Savary nel 1697 produsse la prima macchina a vapore adoperata nell'industria. Nel principio generale rassomiglia assai all'esperienza del Porta. Diede buoni risultamenti in pratica; ma per essere il vapore condotto nel recipiente medesimo in cui entrava l'acqua sollevata, e in contatto immediato con questa, sciupava molto combustibile.

41. La macchina elevatoria di Savary fu applicata da Rigley a produrre un moto di rotazione, col versar l'acqua elevata sopra una ruota idraulica: pensiero dovuto a Papin.

42. Newcomen (1710) messe in forma pratica il pensiero di Papin di produrre il vuoto sotto uno stantuffo per la condensazione del vapore. Generò questo in una caldaja separata, ma lo condensava tuttavia dentro il cilindro medesimo; la qual cosa faceva sì che la macchina sciupasse assai vapore inutilmente. Pur non di meno rendeva forze grandis-

Digitized by Google

sime, ed era assai maneggevole; sì che fu adoperata in molte miniere per tirar fuori l'acqua mediante trombe.

43. Nel 1725 Leupold propose la macchina a vapore senza condensazione, in cui la forza viene dall'eccesso della pressione del vapore sopra quella atmosferica. Il disegno era eccellente, ma non trovò applicazione per non essere allora conosciuta l'arte di costruire caldaje abbastanza resistenti.

44. Smeaton perfezionò di assai le macchine atmosferiche verso il 1769; e ne costruì parecchie di grandi dimensioni; e così bene che alcune di esse lavorano fino ad oggi. Ma avevan sempre il vizio dell'eccessivo consumo, sì che si potevano adoperare solamente dove il combustibile si poteva avere a buon mercato.

45. Dalla idea di Papin fino a' miglioramenti di Smeaton i progressi della macchina a vapore furono quasichè affatto empirici : la scienza vi ebbe pochissima parte. Fu Watt (1759-69) che investigando la cosa ne' suoi principj diede tale una spinta alla grande macchina da farla giungere di botto ad un grado altissimo di perfezione, almeno in paragone con le precedenti. Il metodo seguito dal grande uomo nel condurre le sue ricerche, mostra una mente elevatissima : cominciò dall'investigare le leggi che regolano la formazione del vapore e la sua condensazione; misurò il calore assorbito nella vaporizzazione; il volume relativo del fluido; scoperse il fatto importantissimo del calore latente (conosciuto poco prima da Black); e dedusse dai risultamenti di queste sue ricerche scientifiche le condizioni in cui dovrebbe trovarsi il vapore nella macchina. Cercando il modo di ottenerle immaginò il *condensatore* separato; non accidentalmente, nè spinto da' fatti materiali, ma quale necessaria e logica conseguenza de' principj fondamentali stabiliti dapprima. Altra conseguenza di tali principj si fu il coprire il cilindro e far spingere lo stantuffo da vapore invece che da aria. Inoltre, sempre per avvicinarsi possibilmente alle condizioni teoretiche, inviluppò il cilindro di uno strato di vapore.

46. Dopo aver provata l'invenzione in un modello, il Watt costruì molte macchine da tromba per le miniere; tuttavia non

Digitized by Google

senza aver prima occupato ben dieci anni nello sviluppo tecnico del suo disegno. Nella macchina da tromba di Watt abbiamo il completo sviluppo dell'idea di Papin, o a meglio dire abbiamo già fatto quello che Papin si proponeva di fare.

47. Inoltre Watt vi aggiunse il principio importantissimo dell'espansione del vapore, facendo acquistare allo stantuffo velocità esagerata nel principio, e chiudendo affatto il meato prima della fine, della gita; e diminuì notevolmente per tal mezzo il consumo di combustibile. Tanto che la forza resa costava oramai meno di quella ottenuta dagli animali, e Watt si propose di renderla più generalmente applicabile, facendo produrre alla sua macchina un moto di rotazione.

48. Il primo passo ch'egli fece su questa via si fu il far spingere lo stantuffo d'ambo i versi, facendo penetrare il vapore or sotto or sopra, e lasciandolo scaricare dal lato opposto: conseguì in tal modo il cilindro a doppio effetto. Tolse la catena che nella macchina da tromba comunicava il moto dello stantuffo al bilanciere, e che non poteva trasmettere la spinta del vapore, e vi sostituì una spranga articolata, un connettore. Ma ciò rese necessario un artifizio che impedisse all'asta di piegarsi per la forza obbliqua fatta dal connettore in taluni punti del cammino.

49. Nelle macchine moderne tale artifizio consta quasi sempre di superficie ferme metalliche, dette *guide;* ma ai tempi di Watt non si possedeva l'arte di formar bene tali superficie. Vi supplì con l'invenzione del paralellogrammo articolato, sistema di spranghe e di punti fermi che guida completamente l'asta in un cammino rettilineo.

50. Trovati questi mezzi di far oscillare il bilanciere su e giù con forza eguale, gli fu facile conseguire il moto di rotazione, legando l'estremità del bilanciere ad una manovella con volante, simile al meccanismo dell'arrotino. Dovette tuttavia combinare altri mezzi di trasformare il moto d'andivieni in rotatorio, per evitare una privativa presa a tradimento da un altro costruttore che gli rubò l'invenzione della manovella; ma tornò a questa sùbito spirato il termine della privativa. Mostrò pure come si possa far senza del volano valendosi di due macchine operanti sul medesimo albero.

51. Per limitare le variazioni di velocità della macchina, Watt inventò il regolatore a forza centrifuga, che apre o chiude più o meno, secondo che la velocità scema o cresce, una valvola interposta fra la caldaja e 'l cilindro.

52. Oliver Evans in America nel 1786 recava a forma pratica, e introduceva, la macchina senza condensazione; la quale infatti ebbe ed ha maggior sviluppo in America che altrove.

53. Da Watt in poi nessuna novità di rilievo è stata aggiunta alla macchina a vapore: vi abbiamo apportato solamente differenze di forma, perfezionamenti costruttivi; principj nuovi nessuno.

Tuttavia la teorica è progredita a passi di gigante in questi ultimi anni, e quantunque la sua applicazione alla macchina a vapore sia tuttora incompleta, pure ci mostra esservi largo campo di migliorare; adoperando tensioni più alte, spingendo ancora più l'espansione, e trovando mezzi d'impedire le perdite fortuite.

Nota. — *A chi dobbiamo la Macchina a Vapore?*

È difficilissimo stimare nella storia delle invenzioni quanto merito è da attribuirsi a coloro che, senza avere in mira il conseguimento di uno scopo, fornirono cognizioni indispensabili a ragginngerlo. Da una parte si potrebbe dire che essendo essenziali tali cognizioni fu importantissima l'opera di coloro che le trovarono, dall'altra non sembra giusto considerare chi preparò la tela e i co ori siccome partecipante al lavoro dell'artista che dipinse il quadro. E per questo la gloria di aver dato al mondo la grandiosa macchina fu tanto contestata fra le nazioni: chi dice doversi alla Francia, perchè Papin fu primo a proporre l'idea di fare il vuoto in un cilindro mediante il vapore; chi all'Italia per essere stato Branca primo a tentarne l'applicazione utile; altri vorrebbe darla all'Inghilterra, in virtù delle esperienze del Marchese di Worcester e le scoperte di Watt; vi è chi pretende aspettarsi la gloria agli antichi Greci per le notizie di macchine date da Erone; gli Spagnuoli citano una storia troppo ambigua intorno a Blasco de Garay, che nel 1543 militava sotto Carlo V di Spagna, e avrebbe applicata ad una nave di 200 tonnellate la forza del vapore, facendola muovere alla ragione di tre miglia l'ora nel porto di Barcellona; e così via discorrendo.

Ma oramai dovrebbe esser finita la questione, essendo chiaro che a niun individuo, a niuna nazione, puossi assegnare il merito: lo sviluppo è stato sempre graduale e progressivo, e vi ha preso parte tutta la famiglia umana, da' tempi remotissimi fino a noi. I materiali si andavan raccogliendo a poco a poco; ora sorgeva un genio che ne additava l'applicazione; ora un altro a cui fu dato di ridurla in pratica; indi un terzo perfezionò i mezzi: e così di sèguito, fino a che la macchina venne fuori comparativamente completa.

E non è da farne maraviglia se gl'inventori più vicini a noi, Papin, Newcomen, Watt, lavorarono con successo maggiore de' più remoti: poichè furon spinti sempre più dalla necessità che l'industria provava di una possente forza motrice; ed eran sempre più ajutati dalle cognizioni fisiche tuttavia crescenti.

Dobbiamo dunque guardare la macchina a vapore siccome un grande monumento dell'ingegno umano: non eretto tutto in una volta per le

Digitized by Google

forze di un uomo solo, ma elaborato durante secoli da molti artefici, e di ogni terra. E se siamo maggiormente colpiti dalle modanature che sporgono di più e riescono più belle ed appariscenti, non dobbiamo per ciò dimenticare che le porzioni men considerabili, e le fondamenta sepolte, forniscono esse pure il loro ufficio: e non ci è lecito disconoscerne l'importanza perchè non le vediamo far grande mostra nell'edifizio parvente.

Se poi invece di riguardare il tutto insieme del nostro Titanico ordigno, noi ne volessimo mirare la forma che attualmente veste, i mezzi che di presente adoperiamo ad ottenere lo scopo, allora potremmo dire benissimo doversi la macchina a vapore all'illustre Watt, e solamente a lui.

Digitized by Google

PARTE III.

Meccanismo della Macchina a Vapore.

LEZIONE XII.

54. Classificazione delle Macchine a Vapore. — 55. Cilindro. — 56. Valvola Distributrice a Conchiglia.—57. Ingegni da alleviare la spinta sulla valvola.—58. Valvole di Scarico.—59. Valvola Distributrice Semicilindrica. 60.—Valvola Distributrice a Stantuffi.

54. *Classificazione delle Macchine a Vapore.* — Come dicemmo (§ 1), le macchine a vapore si dividono in due grandi classi, cioè in quelle a condensazione e quelle senza condensazione. Ciò che distingue le prime si è, che il vapore, dopo di aver operato nel cilindro, passa in un recipiente chiuso dal quale si è estratta l'aria; quivi incontrando le pareti mantenute fredde, e per lo più anche un zampillo d'acqua fredda, si condensa diminuendo di tensione nel tempo medesimo: questo recipiente vien detto condensatore, e la macchina che ne è munita dicesi: *a condensazione*.

Nelle macchine *senza condensazione* il vapore dopo aver spinto lo stantuffo scappa nell'atmosfera senza subire raffreddamento; e quindi la sua tensione non può abbassarsi al di sotto della atmosferica, e la forza della macchina viene dall' eccesso della pressione del vapore sopra quella dell'atmosfera.

Tanto le macchine a condensazione quanto quelle senza

Digitized by Google

condensazione possono essere *a semplice effetto* o *a doppio effetto,* secondo che il vapore operi sopra un lato solo, o sopra tuttadue i lati dello stantuffo.

Sì le macchine a condensazione che quelle senza condensazione, sieno a semplice o a doppio effetto, possono operare o *a tutta pressione* o *ad espansione:* nel primo modo il vapore penetra nel cilindro durante tutta la gita; nell'altro il meato tra 'l cilindro e la caldaja vien chiuso a un certo punto del cammino, sicchè aumentandosi il volume del fluido, questo si espande, e dà fuori maggiore effetto utile; come mostrammo dicendo della macchina di Watt (§ 47).

Per maggiore chiarezza possiam disporre in una tavola questa classificazione:

I. Macchina a condensazione.	A semplice effetto	a tutta pressione.
		ad espansione.
	A doppio effetto	a tutta pressione.
		ad espansione.
II. Macchina senza condensazione.	A semplice effetto	a tutta pressione.
		ad espansione.
	A doppio effetto	a tutta pressione.
		ad espansione.

Le macchine più semplici sono evidentemente quelle senza condensazione; ma consumano assai vapore in rapporto al lavoro reso: per lo più sono a doppio effetto,

Digitized by Google

per risparmio di peso e di spazio, e ad espansione per l' economia del combustibile. Tutta volta, essendo che dànno minore effetto utile delle macchine a condensazione, si adoperano solamente in quei casi in cui è necessaria la semplicità o la leggerezza, o dove manca l'acqua da effettuare la condensazione. Le troviamo infatti nelle locomotive, nelle locomobili, ne' piccoli piroscafi in cui riuscirebbe troppo voluminosa la macchina a condensazione, ecc.

Le macchine più efficaci son quelle a condensazione e ad espansione; ma nel tempo medesimo sono le più pesanti, le più voluminose, e quelle che occupano maggiore spazio. Le troviamo perciò in quelle circostanze in cui occorre risparmiare il combustibile anzichè lo spazio, il peso, e il costo primo: ne' piroscafi ordinarj, nelle officine, ne' molini, ecc. Quasi sempre sono a doppio effetto; e solo in qualche caso speciale le incontriamo a semplice effetto, per esempio nelle macchine da tromba, in cui occorre la spinta solamente in un verso (§ 42).

La classificazione da noi adottata si basa sul modo di operare del vapore nella macchina; ma spesso vengono classificate le macchine secondo l'uso al quale sono destinate: così abbiamo macchine che vanno fissate irremovibilmente sopra basi, e son dette *fisse* o *ferme;* abbiamo *macchine portatili; macchine locomobili, locomotive, marine;* ecc.

Una terza maniera di classificare è di prendere a base la tensione del vapore adoperato: diconsi *a bassa pressione* le macchine che lavorano con vapore la cui tensione non superi le tre atmosfere; *a media pressione* quelle in cui la tensione è fra le tre e le cinque atmosfere; e finalmente *ad alta pressione* quelle che operano con vapore di oltre le cinque atmosfere.

Sembra tuttavia che queste ultime maniere di classificazione sieno tutte e due imperfette: prendendo come base l'uso a cui è destinata la macchina, è chiaro che

Digitized by Google

potremmo avere un numero sterminato di specie diverse, e che non sarebbe possibile contemplarle tutte; e pigliando a base la tensione del vapore non si può avere nemmeno una distinzione esatta, poichè sono pochissime quelle macchine che operano sempre col vapore alla stessa tensione, sì che la macchina medesima potrebbe appartenere ora ad una classe, ora ad un'altra.

In quasi tutte le macchine a vapore vien fatto rotare un albero, da cui si toglie la forza motrice e si conduce fin dove occorre; e solo in qualche caso eccezionale, come nelle macchine da tromba, ne' magli a vapore, ecc., il moto rimane rettilineo. Sì che riesce quasi superfluo il dividere le macchine in quelle *a moto rotatorio* e quelle *a moto rettilineo*. e s'intende che secondo la nostra classificazione, ogni sorta di macchina può fornire moto rotatorio o moto rettilineo, secondo il meccanismo. E quindi, se vogliamo comprendere anche questa circostanza, dobbiamo distinguere ognuna delle specie risultanti dalla nostra tavola in due suddivisioni, e l'una diremo a moto rotatorio, e l'altra a moto rettilineo.

Così le macchine ordinarie dei piroscafi sarebbero : a condensazione; a doppio effetto; ad espansione; a moto rotatorio. La macchina da tromba di Watt si direbbe: a condensazione ; a semplice effetto; ad espansione; a moto rettilineo. Quella proposta da Leupold (§ 43) si descriverebbe così: senza condensazione; a semplice effetto; senza espansione; a moto rettilineo. E via discorrendo.

55. *Cilindro.* — Chiamasi *cilindro* nelle macchine a vapore il pezzo cavo dentro del quale è aggiustato lo stantuffo, e in cui questo riceve la spinta del vapore. Come indica il suo nome, esso internamente è circolare nel suo spaccato per traverso, e rettangolare nel suo spaccato per lo lungo. Perchè lo stantuffo possa scorrervi senza attrito eccessivo, e nel medesimo tempo senza lasciar passare vapore, è necessario che il cilindro sia perfettamente levigato. e di forma esatta: ed è questa la

cagione principale per cui si sceglie la figura cilindrica per questo pezzo; non solo riesce più facile nella costruzione produrre un cilindro perfetto, anzichè un'altra forma solida qualunque, ma il logoramento, inevitabile in ogni caso di strofinìo, tende a distribuirsi dappertutto in egual quantità, per la forma cilindrica; e se si ha cura di volgere di tempo in tempo le superficie stropiccianti dello stantuffo, la sezione trasversale tende a mantenersi di forma esatta, e lo stantuffo vi si può adattare agevolmente.

È stato proposto di dar forma prismatica al pezzo in parola; come pure di farlo (per facilitare la trasmissione del moto), curvo invece di retto; ma nella prima maniera sarebbe difficilissimo mantenere in buono stato le superficie, perchè il logoramento guasterebbe sempre più la forma dello spaccato; e nell'altra sarebbe di somma difficoltà la costruzione. Infatti si adotta sempre la forma cilindrica e dritta.

Il metallo adoperato pe' cilindri è quasi sempre la ghisa, poichè è abbastanza resistente; piglia nel lavorare un'eccellente pulitura: ed offre grandi facilitazioni al costruttore, tanto pel modo di dar la forma per fusione, quanto per esser docile al tornio e agli altri strumenti da lavorare i metalli.

I cilindri sono spesso circondati di un fodero di vapore, come venne fatto dal Watt; e talvolta anche i coperchj sono similmente foderati. Perchè si possa mettere a posto lo stantuffo, è necessario che ad una estremità del cilindro vi sia un coperchio amovibile; in molte macchine tutte e due le bocche sono munite di coperchj, in altre, invece, uno dei fondi è di un pezzo col cilindro medesimo. Il coperchio viene fermato al cilindro per mezzo di un orlo che sporge da quest'ultimo, e di pernj a chiocciola che stringono insieme tale orlo e il lembo corrispondente del coperchio; le superficie sono tornite o spianate, e fra di esse è interposto un anello di piombo

Digitized by Google

intonacato di mastice ad olio in ambo le facce. Talvolta usano solamente il mastice, unito a poche filaccie di canape. È forse migliore la maniera di alcuni costruttori, di far sporgere in giro agli orli una stretta fascia che si leviga perfettamente, e così basta il semplice contatto delle superficie metalliche, un po' untuose, e strette dalle viti, ad impedire la fuga del vapore. Nella fig. 41 abbiamo il disegno della prima maniera di fermare il coperchio, e nella fig. 42 è rappresentata l'altra. Quest'ultima vuole maggior delicatezza nello stringere le chiocciole, poichè i lembi restano sporgenti e senza appoggio, e sarebbe facile romperli.

56. *Valvola Distributrice a Conchiglia.*—Alle due estremità del cilindro sono i meati per l' ammissione e l'emissione del vapore. Ordinariamente il medesimo canale serve tanto per l'entrata quanto per l' uscita; ma talvolta vi sono due passaggi a ciascuna estremità, e l'uno serve ad introdurre, l' altro a scaricare il fluido. Nel congegno di Watt erano adoperate quattro valvole per la distribuzione del vapore, ed era necessario un meccanismo assai complicato a muoverle ne' giusti periodi; e benchè questo mezzo delle quattro valvole sia eccellente per le macchine che non hanno moto troppo rapido, ed offra grande facilità a combinare l'espansione; pure, perchè non è adattato a' movimenti veloci, e perchè il congegno necessario a muovere le valvole dev'essere piuttosto complicato, lo si adopera poco. Più spesso la distribuzione si effettua mediante una sola valvola, alla quale se ne accoppia una seconda nei casi in cui vuolsi espansione assai spinta o variabile.

La più usitata delle valvole distributrici è quella detta *a conchiglia:* la fig. 43 ci mostra un cilindro a doppio effetto munito di tale valvola; i due passaggi *a*, *b*, si diriggono verso la parte centrale del cilindro e sboccano in *c*, *d;* in A abbiamo uno spaccato del cilindro preso ad angolo retto coll'altra figura, e in *c*, *d*, si vedono le

bocche de' due passaggi anzidetti; si dà a questi una sezione rettangolare e allungata, a fine di occupare minore altezza nel cilindro. Fra i due meati *c*, *d*, ve ne ha un terzo *e*, il quale, mediante il tubo *f*, comunica con l'atmosfera esterna, ovvero col condensatore. I tre meati son fatti per fusione nel massiccio stesso del cilindro, e la piastra *gh*, anch'essa venuta di un pezzo col cilindro, è perfettamente piana e levigata. Su di essa si appoggia la valvola a conchiglia *i*, il lembo della quale è grande tanto, tutto intorno, da coprire affatto lo bocche de' tre meati sulla piastra, quando la valvola è in posizione centrale. La cavità *i* risponde al meato di mezzo, ed ha larghezza maggiore, sì che la valvola può muoversi su e giù senza che cessi la comunicazione tra il meato *e*, e la cavità *i*. Nella fig. 44 abbiamo disegnato completamente, e più in grande, la valvola medesima. Ritornando alla fig. 43: una cassetta *m n* che racchiude la valvola, si adatta tutto intorno alla piastra *g h*, e vi è fermata mediante pernj e chiocciole, come si disse per il coperchio del cilindro. Un tubo, *o*, mette tale cassetta in comunicazione con la caldaja. L'asta *p*, attaccata alla valvola, passa per una scatola a trecce (§ 46) nella parete superiore della cassetta, e permette di cangiare la posizione della valvola sul piano.

Nella situazione indicata nella figura, l'interno della conchiglia comunica con l'atmosfera, oppure col condensatore, e l'esterno, ovvero il dorso, della conchiglia stessa, subisce la pressione del vapore nella cassetta; sicchè essa terrà ben chiusi tutti e tre i meati, essendo stretta sul piano dalla pressione esterna. Se, mediante l'asta *p*, la spingiamo giù (sempre in contatto intimo col piano), tanto da scoprire l'apertura *c*, il vapore della cassetta penetrerà nella parte superiore del cilindro, trovando libero il passaggio *c, a*. Nel tempo medesimo la cavità *i* sarà discesa tanto da comprendere il meato *d*, senza d'altra parte aver chiuso *e*, così saranno messe in comuni-

cazione queste due aperture; e per conseguenza l'estremità inferiore del cilindro comunicherà col tubo *f*. E però lo stantuffo sarà spinto da sopra dal vapore, e da sotto dall' atmosfera (se la macchina è senza condensazione), o dal fluido nel condensatore (se la macchina è a condensazione). Supponiamo che, per la differenza tra le due spinte, lo stantuffo sia disceso sino al fondo del suo cammino; perchè risalga è mestieri che riceva il vapore da sotto, e che scappi via quello che lo spinse a discendere; e si ottengono tuttadue queste circostanze tirando su la conchiglia in guisa da scoprire l'apertura *d*. Questa ammetterà allora il vapore della cassetta al sotto dello stantuffo, e nel tempo medesimo l'apertura *c* sarà posta in comunicazione con *e*; e quindi lascerà scappare pel tubo *f* il vapore che era nel sopra del cilindro. Vediamo da ciò, che basta muovere su e giù la conchiglia, tanto da scoprire ora l'apertura inferiore, ora la superiore, a distribuire il vapore; cioè a farlo penetrare nel cilindro e lasciarlo scappare, ne' giusti periodi. Vedremo poi il modo in cui la macchina medesima dà l'apposito movimento alla valvola.

La pressione del vapore stringe la conchiglia al piano, tanto che nelle grandi macchine (come vedremo or ora) occorrono artifizj speciali ad alleviare la spinta; ma quando il cilindro ha posizione tale, che, mentre la macchina non sia in opera, la valvola non posi sul piano, il vapore potrebbe penetrare sotto di essa e andarsene al condensatore; in tali casi si ferma una molla sul dorso della conchiglia, come si vede in *e f* nella fig. 44, e le estremità di essa strisciano sulla parete della cassetta, e mantengono la valvola in contatto col piano. S' intende che una volta messa in movimento la macchina, la molla non sarebbe più necessaria, e si adopera solo, come dicemmo, per impedire che il vapore penetri fra la valvola e il piano nel principio dell'operazione.

57. *Ingegni da alleviare la spinta sulla valvola.*—

Digitized by Google

Nelle grandi macchine, essendo assai estesa la superficie della valvola a conchiglia, la pressione del vapore spinge questa così fortemente sul piano, da render necessarj per muoverla pezzi assai resistenti, poichè hanno a superare l' attrito che si genera fra le superficie stropicciantisi. È quindi di grande importanza alleviare tale pressione, e sono in uso parecchi mezzi di ottenere lo scopo; ne descriveremo due: — Fig. 45; sul dorso della valvola, e di un pezzo con essa, è fatta una sporgenza annlare *a b*, che vedesi di prospetto in A; in una profonda scanalatura praticata in questa sporgenza, si adatta un anello di bronzo, il quale posa sopra una treccia di canape posta nel fondo della scanalatura; talvolta invece della treccia vi sono varie molle metalliche, che adempiono il medesimo ufficio, cioè di spinger fuora l'anello. Quella porzione della parete interna della cassetta, che sta dirimpetto alla faccia su cui scorre la valvola, sporge alquanto, ed è perfettamente piana e levigata; e l'orlo dell' anello di bronzo, per la pressione della treccia, o delle molle, si adatta benissimo sopra tale piano sporgente; sicchè facendo una comunicazione fra lo spazio così racchiuso sul dietro della valvola, e il condensatore, la spinta del vapore sulla conchiglia sarà limitata a quella parte di superficie non compresa dentro l'anello; e le piccole quantità di vapore che penetrano per l'imperfezione dell'aggiustamento, se ne scappano al condensatore.

Un' altra maniera di alleviare la spinta, è quella che vedesi nella fig. 46: qui l'anello sporge dal coperchio della cassetta, invece che dal dorso della valvola, e striscia sopra un piano formante parte della valvola medesima; e si ha il vantaggio di poter regolare la pressione dell' anello dal di fuori, mediante i pernj *a*, *b*, ecc., e farlo combaciare esattamente.

Le valvole munite di congegni atti ad alleviare la spinta diconsi *equilibrate*, e si adoprano quasi sempre nelle grandi macchine marine.

Digitized by Google

58. *Valvola di Scarico.*— Come dicemmo, la valvola a conchiglia è spinta sul piano del cilindro dalla forza elastica del vapore; quindi non occorre alcun artifizio a mantenerla in contatto, a meno che il cilindro non abbia tale posizione, da render necessaria una molla che sostenga la valvola prima che sia in movimento la macchina, come si disse nel § 56; anzi è buono che la conchiglia sia libera di sollevarsi alquanto dal piano, nel caso che vi sia spinta da forza eccessiva, ed ecco perchè: può accadere talvolta, per ebollizione tumultuosa nella caldaja, o per altre cagioni fortuite, che passi acqua nel cilindro insieme col vapore; e allorquando lo stantuffo si avvicina alla fine del suo cammino, se non si ha un qualche meato che lasci sfuggire l'acqua, questa, per la sua relativa incompressibilità, ferma di botto lo stantuffo, e cagiona perciò un tremendo urto sull'intiero meccanismo; tanto che ne segue non di rado la rottura del coperchio del cilindro, dello stantuffo, o dell'asta (1). Quando la conchiglia può distaccarsi alquanto dalla faccia del cilindro, in qualche modo si pone riparo all'inconveniente, avvegnachè l'acqua può sfuggire dentro la cassetta. Troviamo in fatti nelle buone macchine, che l'asta è legata alla valvola in guisa, da lasciar libera questa ultima dentro certi limiti; nella fig. 44, l'asta si avvita ad una staffa *a b c d,* che cinge la conchiglia, e la lascia libera nel tempo medesimo di sollevarsi alcun poco. Talvolta invece di staffa si adopera una chiocciola incastrata nella valvola; ma sempre in maniera da permettere un piccolo movimento a questa; ed è buono pure perchè facilita il combaciamento della valvola sul piano.

Dicemmo che questo artifizio ripara in qualche maniera all'inconveniente; tuttavia non vi pone completo rimedio.

(1) Come si vedrà a suo luogo, la valvola, verso la fine della gita dello stantuffo, si trova in posizione centrale; il meato è chiuso per la compressione.

E nelle valvole equilibrate non può avere grande effetto, per la presenza dell'anello che preme il dorso della valvola e la mantiene in contatto col piano; sì che essa potrebbe sollevarsi solo di quanto permette lo spazio libero fra i lembi del pezzo anulare *c d*, fig. 46, e la faccia superiore della valvola. Nelle caldaje marine avviene non di rado l'ebollizione tumultuosa, e inoltre il moto del piroscafo nel cattivo tempo costituisce un'altra cagione per cui può passare acqua a' cilindri; è dunque necessario che sia provveduto un qualche mezzo di lasciarla scappare. Infatti i cilindri delle macchine marine sono muniti sempre di *valvole di scarico;* la fig. 47 ce ne mostra il congegno: — *a b* è la parete, ovvero il coperchio o il fondo, del cilindro; in essa è praticato un foro, in cui s'incastra un anello *c d,* di bronzo, e vi è fermato mediante pernj a vite; due di questi sono allungati in *e,f,* e sostengono un ponte, *g;* l'anello di bronzo è chiuso da una valvola a coperchio, la cui asta viene guidata dal ponte *g*. Fra questo e la valvola, è interposta una molla a elica, la cui tensione può regolarsi per mezzo delle chiocciole *h, i, l, m;* cosicchè la valvola si mantiene chiusa nell' operare consueto della macchina; cede invece alla forza eccessiva, quando avviene compressione di acqua nel cilindro. Tutto l'ingegno va coperto da una cassetta, per impedire la projezione degli spruzzi di acqua bollente.

59. *Valvola Distributrice Semicilindrica, o a* D.— In alcune macchine marine di antica costruzione troviamo la *valvola semicilindrica,* detta ordinariamente *valvola a* D: ve ne sono due specie: la lunga, e la corta; nella fig. 48 abbiamo la valvola semicilindrica lunga: — I meati invece di esser condotti verso il mezzo del cilindro, come per la valvola a conchiglia, sono diritti, come vedesi in *a, b,* e il piano in cui sboccano è lungo quanto tutto il cilindro, se non che sono levigate solamente le porzioni che si osservano un po' sporgenti, sotto

e sopra le bocche dei passaggi; in A abbiamo uno spaccato trasversale secondo la linea *c*, *a*, *d*, e in esso si vede la forma semicilindrica della valvola e della cassetta che la circonda; le estremità della valvola sono munite al dorso di una specie di scatola a trecce *f*, *g*, che combacia esattamente tutto intorno con la parete curva della cassetta, sì che la parte centrale di questa, come *h*, *i*, è isolata dalle estremità *l*, *m*, che comunicano invece con l'interno della valvola, tutta aperta, a guisa di tubo; essa viene spinta su e giù mediante l'asta *l*. Il tubo *n* conduce il vapore dalla caldaja alla parte centrale della cassetta, nello spazio intorno alla valvola; le estremità *l*, *m*, comunicano col condensatore. Nella posizione indicata nella figura, il vapore penetra per *b* nel sotto del cilindro ; mentre il sopra è in comunicazione col condensatore, per il meato *a* e per dentro la valvola; tirando questa su, tanto da scoprire l'apertura *b* alla estremità inferiore della cassetta, e l'apertura *a*, alla parte centrale *h*, *i*, il vapore che riempiva il sotto del cilindro se ne fugge al condensatore, e penetra nuovo vapore dalla caldaja per l'apertura *a*.

Nella fig. 49 è rappresentata la valvola semicilindrica corta: come si vede, è tolta via la parte centrale, tubolare, della valvola, e invece sono aggiunti i diaframmi *a*, *b*, che separano le due estremità della cassetta dalla parte mediana; i dorsi delle valvole sono cinti da scatole a trecce semicilindriche; e vi sono due passaggi che conducono al condensatore, l'uno dal sopra, in *c*, l'altro dal sotto, in *d*; e per *e* penetra il vapore proveniente dalla caldaja. In A abbiamo la pianta della valvola superiore. Del resto l' operazione di questo congegno è simile a quella della valvola lunga.

E tanto l'una che l'altra sono poco adoperate oggidì, a cagione dell' attrito generato dalle scatole a trecce, e perchè riescono tanto pesanti, da renderne malagevole il movimento con velocità alquanto grande.

Digitized by Google

60. *Valvola Distributrice a Stantuffi.* — Si è adoperata qualche volta con buon successo, quantunque non sia nell'uso generale, la valvola distributrice a stantuffi, che vediamo nella fig. 50: — A fianco del cilindro è fissato un tubo, il quale, nei punti che rispondono alle estremità del cilindro stesso, è munito nell'interno di porzioni rese perfettamente cilindriche e levigate; in esse scorrono due stantuffi *a*, *b*, e tutt'intorno vi sono le fasce vuote *c d*, *e f*; queste fasce comunicano con l'interno del tubo, per mezzo delle aperture oblique che si vedono nella figura; e dall'altro lato le fasce medesime sono poste in comunicazione, l'una col sopra, l'altra col sotto del cilindro; la parte centrale del tubo riceve il vapore dalla caldaja per il tubo *g*, e le due estremità sono unite al condensatore pei canali *h*, *i*. Nelle porzioni levigate del tubo scorrono, come dicemmo, gli stantuffi *a*, *b*, e la larghezza di questi è tale, da cuoprire affatto le aperture oblique quando vi si trovano dirimpetto; la distanza fra i due stantuffi è quella medesima che vi ha fra le due serie di aperture, e ne segue che essendo chiusi i meati di sopra, son chiusi pure quelli di sotto; e che quando questi sono aperti al vapore, per essere spinti giù gli stantuffi, gli altri sono aperti al condensatore, ed è la posizione della nostra figura; quando invece i passaggi di sotto sono aperti al condensatore, quelli di sopra ammettono il vapore della caldaja. S'intende che gli stantuffi si muovono insieme; essendo che sono connessi ad unica asta. Le aperture son fatte a sbieco per impedire che la guarnitura degli stantuffi non si guasti, stropicciando sugli spigoli dritti; e questa pure è la cagione per cui sono adoperate varie aperture piccole, separate da porzioni di parete cilindrica, invece di un meato solo più largo: vi s'introdurrebbe la guarnitura e ne sarebbe guasta.

Questa valvola, come quella semicilindrica, è di sua natura equilibrata, ma per muoverla hassi a superare

l'attrito degli stantuffi sull'interno del tubo; tutte e due queste valvole hanno il vantaggio di non esigere meati lunghi, come quella a conchiglia, e dànno, per conseguenza, un certo risparmio di vapore. Pur tuttavia sono assai meno adoperate di quella, per la complicazione ed il costo maggiore, e il peso e il maggiore attrito.

Digitized by Google

LEZIONE XIII.

61. Valvole da Espansione. — 62. Stantuffi a Trecce. — 63. Stantuffi Metallici. — 64. Asta dello Stantuffo.

61. *Valvole da Espansione.* — In una lezione precedente (§ 47) spiegammo il principio, scoperto da Watt, dell'espansione nel cilindro, del vapore isolato dalla caldaja; e vedemmo che tale espansione aumenta l'effetto utile reso dal fluido, in singolar modo quando questo abbia una tensione iniziale elevata. È importante dunque avere i mezzi di ottenere l'espansione, di poter chiudere, cioè, in un dato punto del cammino dello stantuffo, il passaggio per cui viene il vapore dalla caldaja al cilindro.

Con la valvola a conchiglia ordinaria non si può ottenere un alto grado di espansione, poichè il chiudersi del passaggio di entrata, porta seco in certo modo la chiusura anche di quello d'uscita; infatti ambo questi effetti vengono dal medesimo movimento della valvola; e la chiusura del meato di uscita assai prima che lo stantuffo giunge alla fine della gita, sarebbe dannosa per la soverchia compressione del vapore rimanente nel cilindro. Se non che, come vedremo a suo luogo, una certa quantità di compressione è utile, per raddolcire il moto e per fare che sieno pieni di passaggi e lo spazio noci-

vo (1), e quindi si può con vantaggio, adoperando la conchiglia ordinaria, e tenuto conto di questa circostanza, chiudere il meato d'immissione a' $^3/_4$ o a' $^2/_3$ della gita, ottenendo perciò un'espansione di 3 volumi in 4, o di 2 in 3. Sembra che più di tanto non si possa conseguire, essendo che non è possibile conciliare con un'espansione più spinta gli altri requisiti della distribuzione, come si vedrà più innanzi quando diremo de' mezzi di muovere i congegni distributori. Per distinguere questa espansione limitata, la si dice *espansione naturale;* e significa che essa si ottiene senza ingegni appositi e particolari, ma invece con semplici modificazioni arrecate alla valvola a conchiglia ordinaria.

Ma dove vogliamo che il vapore si espanda di più, ed inoltre che sia variabile il grado dell'espansione, dobbiamo ricorrere ad ingegni separati ed indipendenti dalla valvola distributrice. Spesso nelle macchine marine si adopera una semplice valvola a disco (§ 51), interposta fra il cilindro e la caldaja, e chiusa e aperta nei giusti periodi da meccanismo acconcio, e che descriveremo in una lezione avvenire. Ma le valvole a disco difficilmente possono chiudere bene, ed essendo collocate a qualche distanza dalla cassetta, si espande, insieme al vapore nel cilindro, quello contenuto nella cassetta medesima e in quella parte del tubo che rimane tra lei e la valvola; inoltre il moto della valvola ha luogo a salti, e per conseguenza questa maniera può servire solamente in quei casi, in cui il movimento della macchina non è troppo veloce, per esempio nelle macchine marine a ruote.

Troviamo spesso in pratica la valvola da espansione *a sportello,* e quella *a graticola;* nella fig. 51 abbiamo disegnato la prima di queste: — Sul dietro della cassetta

(1) Dicesi *spazio nocivo* quell'eccesso di lunghezza che bisogna dare al cilindro perchè lo stantuffo non urti, per qualche piccolo eccesso accidentale nella gita, o per spostamento del cilindro o dello stantuffo.

Digitized by Google

della valvola a conchiglia, è fissata una seconda cassetta *ab*, la quale comunica con la caldaja mediante il tubo *c*; le due cassette possono comunicare fra loro per il meato rettangolare *d*, che viene chiuso, volendo, dalla lastra a sportello *e*, scorrevole sopra il piano levigato che circuisce l'apertura. Il vapore può giungere allo stantuffo solamente per questa apertura; e lo sportello può esser spinto in giù o in su mediante un'asta che passa fuori, circondata da una scatola a trecce. Nel principio della gita dello stantuffo lo sportello si trova al di sopra o al di sotto dell'apertura, in guisa che questa rimanga tutta aperta; giunto lo stantuffo al punto in cui vuolsi che incominci l'espansione, lo sportello viene mosso in modo da coprire il passaggio e intercettare perciò la corrente di vapore. E ciò si può ottenere indipendentemente dalla valvola distributrice, e però senza modificare le altre circostanze della distribuzione.

Perchè il meato sia chiuso con prestezza, è buono che il cammino dello sportello *e* sia corto quanto più possibile; e perciò si dà sovente a questa valvola la forma *a graticola*, che vedesi nella fig. 52: — Invece di esservi un orifizio solo nel dietro della cassetta, ve ne sono parecchi, in questo caso tre *a*, *b*, *c*, la valvola *d e f g* è forata di orifizj simili, sicchè quando questi rispondono alle aperture *a*, *b*, *c*, come nella posizione figurata, il vapore può passare liberamente dalla cassetta esterna alla interna; quando invece la valvola viene spostata di una quantità appena maggiore della larghezza di una delle aperture, queste rimangono tutte e tre chiuse. È chiaro che per avere un'area stabilita, in questa maniera basterà $1/_3$ del cammino occorrente per lo sportello semplice, poichè abbiamo tre aperture invece di una; e facendo ancor maggiore il numero delle aperture, si può ottenere lo scopo con cammino ancor più breve, e quindi si può intercettare più rapidamente il passaggio al vapore.

Questa valvola è buona solo per gli alti gradi d'espansione, poichè è sua proprietà di aprire nuovamente il meato che ha chiuso, a distanza dalla fine della gita, eguale a quella fra 'l principio di questa, e il punto in cui chiude: per esempio, se chiude il meato a $\frac{1}{3}$ di cammino dello stantuffo, lo apre nuovamente a' $\frac{2}{3}$; se lo chiude a $\frac{1}{4}$, lo apre di nuovo a' $\frac{3}{4}$, e così via; come vedremo trattando de' mezzi di muovere le valvole da espansione (§ 74).

Nella fig. 53 abbiamo uno spaccato della *valvola da espansione di Meyer*, che ha la pregevole qualità di permettere che si cangi il grado dell'espansione, anche durante il moto della macchina:— Alle estremità d'una valvola a conchiglia ordinaria sono aggiunti i pezzi *a*, *b*, (fatti tuttavia in uno con la valvola), sicchè il vapore invece di entrare direttamente dalla cassetta, passa per le aperture *c*, *d*; per altro, il giuoco della valvola è affatto identico a quello della conchiglia comune. Il dorso della conchiglia è fatto piano e levigato, e vi si adattano gli sportelli *e*, *f*, larghi tanto da poter chiudere bene le aperture *c*, *d*; essi sono avvitati all'asta *g* mediante le viti, destrorsa e sinistrorsa, tagliate sull'asta medesima, di guisa che volgendo la detta asta in un verso, i due sportelli si allontanano l'uno dall'altro, volgendola nel verso contrario, essi si avvicinano. L'estremità dell'asta *h* è prismatica, e s'incastra in un astuccio di egual forma, e vi scorre nel suo movimento senza mai uscirne del tutto; tale astuccio si può volgere a volontà mediante la ruota *i*, fuori della cassetta; e per conseguenza si può, volendo, modificare la posizione degli sportelli sull'asta anche durante che l'asta medesima si muove; e l'asta è congegnata in modo da poter liberamente girare. Se gli sportelli si avvicinano tanto da non coprire mai nel loro moto, e in quel della conchiglia, le aperture *c*, *d*, espansione non ce ne sarà (salvo quella naturale operata dalla stessa conchiglia), e mano mano che si allontanano, si

Digitized by Google

ottiene la chiusura de' meati a distanze sempre più brevi dall'incominciamento della gita; e questo congegno ha il pregio, come dicemmo, di permetterci di regolare l'espansione secondo i bisogni della macchina, senza dover interrompere il movimento. Ciò si ottiene pure, come vedremo, con la valvola a graticola.

Si trovano nell'uso molte altre guise di valvole da espansione, specialmente nelle macchine da terra; ma quelle che abbiamo descritto sono le principali, e ci condurrebbe tropp'oltre l'esaminarne di altre; tanto più che troppo sovente tali meccanismi sono complicati più del dovere, quasi per una specie di moda prevalsa fra i costruttori. È ben vero che in alcune circostanze è buono potersi cangiare prontamente e automaticamente l'espansione; ma il più delle volte ciò non occorre, e basta regolarla una volta per sempre in modo da conseguirne il migliore effetto; o tutt'al più fare che il meccanismo sia adattabile a' varj gradi d'espansione, in guisa da poter scegliere quello che più si conviene alle condizioni speciali in cui opera la macchina; e descriveremo il modo di far ciò, dicendo delle maniere di muovere le valvole da espansione.

62. *Stantuffi a Trecce.*—Lo stantuffo su cui opera il vapore, deve essere aggiustato al cilindro in modo da non lasciar passare il vapore da un lato all'altro, deve formare in fatti una parete che chiuda lo spazio nel cilindro; e nel tempo medesimo dev'esser capace di muoversi senza soverchio attrito, perchè non venga assorbita una porzione troppo grande della forza svolta. Nella sua forma più semplice sarebbe un pezzo cilindrico di metallo, esattamente calibrato nel cavo del cilindro; ma per lo strofinìo perenne si formerebbe, tosto o tardi, uno spazio intorno allo stantuffo, e il vapore vi passerebbe. Si rimediò a questo inconveniente praticando una scanalatura, *ab*, fig. 54, tutt'intorno allo stantuffo, e riempiendola di trecce di canape: l'elasticità di queste le fa-

ceva combaciare col cilindro. Ma pur così il congegno non aveva lunga durata, per il logorarsi della canape; e quasi sempre, adoperando questi stantuffi a trecce, si provvedono mezzi di poter spinger fuora la canapa mano mano che si va logorando, sì che non occorra rinnovarla troppo spesso. Nella fig. 55 abbiam disegnato uno stantuffo combinato con tale proposito, e che sovente troviamo in pratica: esso consiste in due porzioni, *ab, cd;* la prima costituisce il corpo dello stantuffo, e l'altra vi si incastra a foggia di coperchio anulare, che mediante le viti a chiocciola *e, f,* ecc., si può abbassare più o meno; la scanalatura, formata dalla riunione de' due pezzi, è piena di trecce di canape che si adattano all'interno del cilindro. Avvitando le chiocciole, il pezzo *cd* discende, si restringe la larghezza della scanalatura, e per conseguenza le trecce sono spinte fuora contro il cilindro. Basta dunque volgere di tanto in tanto le chiocciole, ad ottenere che sia compensato il logoramento delle trecce.

Questo stantuffo opera assai bene in freddo, o con vapore di tensione bassa, quale si usava nelle macchine di Watt; ma per le tensioni un po' elevate non vale, poichè l'alta temperatura guasta l'elasticità della canape; si tentò difendere questa ricoprendola di anelli metallici che stropicciavano essi sul cilindro, spinti dalle trecce; ma pure così la temperatura del vapore distruggeva ben presto la guarnitura, sì che si fu spinti a costruire gli stantuffi interamente di metallo.

63. *Stantuffi Metallici.* — Furono date forme svariatissime a questi stantuffi, ma si adoperano più spesso le seguenti: *Stantuffo a conj,* fig. 56; il disco *ab* è unito rigidamente all'asta per via di un mozzo che sporge dal centro, le tre ali *c, d, e,* che sporgono pur esse dal disco *ab,* servono per ricevere le viti *f, g, h,* che fermano sullo stantuffo il coperchio *il;* nella pianta A, questo coperchio si suppone tolto, a fine di mostrare l'interno. Le facce interne di *ab* e di *il* sono esattamente levi-

gate per un certo tratto in giro, come vedesi dalla sporgenza nella figura sezionata; e fra queste facce sono interposti gli anelli di ghisa *mn*, *op*, i cui orli combaciano perfettamente con le porzioni levigate del disco e del coperchio. Tali anelli, come vedesi nella pianta, sono interrotti in un punto, e le due estremità sono foggiate ad angolo; e nello spazio angolare lasciato fra queste estremità, s' interpone un conio *q*, puntualmente aggiustato alle facce oblique; il conio è spinto in fuori dalla molla che vedesi appoggiata alle ali *d*, *c*, e tende per conseguenza ad allontanare le estremità dell' anello, ingrandendo il diametro di esso; la molla spinge il conio per mezzo di un perno munito di chiocciole, e la sua forza può per conseguenza regolarsi a piacere. Come vedesi nella pianta, i due anelli sono situati in modo che le loro interruzioni non si coincidano. Posto lo stantuffo, senza coperchio, dentro il cilindro, si volgono le chiocciole delle molle in guisa che i conj, spingendo leggermente gli anelli a dilatarsi, facciano combaciare questi col cilindro; regolate le molle, si afferma il coperchio, e lo stantuffo è in istato di operare. La tensione delle molle tende a mantener gli anelli bene in contatto col cilindro; e per altro il vapore non può passare per le interruzioni negli anelli, poichè esse non si corrispondono. Quando per il logoramento le molle non spingono più i conj, per essersi questi troppo allontanate, si toglie il coperchio dello stantuffo, e si mettono le molle un'altra volta in tensione regolare.

Perchè i conj aprono gli anelli solo in un punto, il logoramento non si distribuisce d'egual modo per tutta la circonferenza, tende invece ad essere maggiore là dove sono aperti gli anelli. È necessario quindi cangiare la posizione di questi di tanto in tanto, volgendoli intorno ogni volta d'un terzo di giro. Per rendere possibilmente eguale dappertutto la resistenza degli anelli, essi son fatti più grossi dirimpetto a' conj, e più sottili dove coinci-

dono questi. Ad impedire che i pernj *f, g, h,* si volgano durante il cammino della macchina, sul coperchio è posto l'anello di freno *r,* il quale, come si vede nella pianta parziale sopra la figura in sezione, riceve in appositi incastri una parte delle teste esagonali dei pernj; sì che questi non si possono svitare, se pria non sia tolto l'anello di freno. E questo, o altro artifizio simile, è necessario: poichè lo svitarsi di un perno può esser cagione di gravissimi guasti; come è chiaro considerando che la sporgenza di esso dallo stantuffo lo può fare urtare sui coperchj del cilindro.

La fig. 57 rappresenta la pianta di un' altra sorta di stantuffo a conj, in cui le molle sono interi anelli. Il pernio *a b*, serve a limitare la posizione delle fasce rispetto al corpo dello stantuffo; e ciò è utile, essendo che potrebbe avvenire che lo stantuffo fosse spinto, o pel proprio peso o per altra forza, sempre di un lato; nella qual circostanza, se non vi fosse un freno rigido, si logorerebbe il corpo dello stantuffo, cioè le superfice *ab, il,* fig. 56, invece degli anelli, che sono muniti di mezzi di compensazione.

Per le grandi macchine marine non si adopera lo stantuffo a conj, perchè la dimensione notevole degli anelli impedirebbe che sentissero tutto intorno l'effetto del conio posto in un sol luogo; si tentò di adoperar varj conj, facendo gli anelli in molti pezzi, ma s'incorreva in complicazione soverchia. Per lo più troviamo lo stantuffo che abbiam disegnato nella fig. 58 in ispaccato e in pianta: la forma generale del corpo è simile a quella dello stantuffo a conj, se non che il coperchio, invece di essere un intiero disco, è anulare, come vedesi in *a, b;* l'altro coperchio *c d,* vi è solamente per cagioni costruttive e non ha da fare con l'operazione dello stantuffo, infatti è posto una volta per sempre. L' unico anello, che riempisce lo spazio fra 'l coperchio e l' orlo dello stantuffo. è spinto fuori da un gran numero di molle, disposte

Digitized by Google

tutt'intorno, come vedesi nella pianta, e la cui tensione può regolarsi mediante i pernj a chiocciola. In *e, f,* ecc. si vedono le chiocciole incastrate che servono a fermare il coperchio anulare. Essendo uno solo l'anello, è chiaro che senza uno speciale provvedimento passerebbe vapore per la fessura, ognora ingrandentesi per la dilatazione dell'anello medesimo; e tale provvedimento l'abbiamo mostrato nella fig. 59:—L'anello è tagliato a sbieco col fine di non avere spigoli dritti che potrebbero solcare il cilindro; in una delle estremità è incastrata la linguetta *a*, che è scorrevole in una fessura corrispondente praticata nell'altra estremità dell'anello; i lati della linguetta e della fessura in cui scorre sono esattamente levigati ed aggiustati, sì che non può passar vapore da un lato all'altro dell'apertura dell'anello, poichè è interrotta questa dalla linguetta; nè il vapore può penetrare nello spazio dietro l'anello, per esservi la piastra *b, c*, imperniata all'estremità *b*, e aggiustata alla superficie interna dell'anello all'altra; e non ostante tale perfetta interruzione del passaggio, l'anello rimane libero di allargarsi, in obbedienza alla spinta delle molle, mano mano che il logoramento lo esigo.

Talvolta nelle macchine piccole, invece di adoperare molle separate per ottenere la dilatazione delle fasce, si fa sì che queste tendano ad aprirsi da per sè medesime; e tale intento si conseguisce così: si torniscono gli anelli di un diametro un po' maggiore di quello del cilindro al quale devono aggiustarsi; poi si tagliano, e si accorciano alquanto, e comprimendoli si fanno entrare a forza dentro il cilindro. Essi tendono ad assumere le dimensioni iniziali, e si mantengono quindi in contatto con l'interno del cilindro per la propria resilienza. La fig. 60 rappresenta uno stantuffo da locomotiva costruito in questa maniera: esso è fatto di un sol pezzo, e nella sua larga superficie sono tagliate tre scanalature, in cui vengono introdotti gli anelli elastici *ab, cd, ef.* Rams-

bottom messe in uso uno stantuffo di questo genere, in cui gli anelli sono di acciaro, e sottilissimi, 5 o 6 millimetri larghi e altrettanto spessi. La difficoltà sembra stare in ciò, che per le impurezze che si accumulano sempre in ogni interstizio libero nel cilindro, gli anelli si fermano completamente nel corpo dello stantuffo, e perdono la forza espansiva. E se nelle locomotive si adoperano con felice successo, egli è perchè tali macchine non lavorano mai molto tempo in continuazione, e son mantenute sempre in buono stato. Per altro quando il corpo dello stantuffo è bene aggiustato, il cilindro perfetto, e le superficie abbastanza estese, il logoramento è assai lieve, e un semplice stantuffo inespansibile può avere lunga durata. Tutto sta nell'avere il cilindro ben calibrato e liscio in prima; poichè se passa vapore fra esso e lo stantuffo, avviene ben presto la corrosione delle superficie per effetto della corrente medesima di vapore.

64. *Asta dello Stantuffo.*— Allo stantuffo è attaccata l'asta che trasmette al di fuori la forza fatta dal fluido. A fine di ottenere una forte connessione tra lo stantuffo e l'asta, l'estremità di questa è foggiata a tronco di cono, e penetra in un foro, similmente conico, praticato nel corpo dello stantuffo. Il cono dell'asta è portato in contatto intimo con le pareti del foro, mediante una chiocciola impegnata in una vite fatta sull'asta, come si vede nelle fig. 55, 56; oppure per mezzo di una chiavetta che attraversa l'asta e il mozzo dello stantuffo, come nelle fig. 57 e 58. Per effetto della forma conica, e di questi possenti modi di trarre insieme le superficie, queste aderiscono quasi molecolarmente, sì che l'unione riesce saldissima. Talvolta nelle locomotive, in cui occorre la massima sicurezza, sì per la velocità notevole, sì per le terribili conseguenze che può portare un accidente, l'asta viene ribadita a dirittura, come si vede nella fig. 60. Siccome l'asta passa per la scatola a trecce, è necessario che sia dritta, d'egual diametro da per tutto, e ben levigata.

Digitized by Google

Nelle grandi macchine marine lo stantuffo è spesso munito di due e talvolta di quattro o più aste. E per risparmio di spazio si adopera una specie particolare di macchina in cui l'asta è assai grande in diametro, e tubolare; tanto che il connettore vi oscilla dentro ed è articolato direttamente allo stantuffo, invece che all'estremità dell'asta. In un'altra sorte di macchina, l'asta va ad articolarsi lei medesima alla manovella, ed in questo sistema il cilindro viene sospeso sopra orecchioni, intorno a' quali oscilla e segue i varj angoli che assume l'asta nel giro della manovella. Serva l'avere accennato qui questi sistemi (che descriveremo dicendo delle macchine marine), per dare un'idea delle varie forme assunte dall'asta dello stantuffo.

Digitized by Google

LEZIONE XIV.

65. Guide; di Maudslay, a Croce, ad E, Cilindrica, Composta. — 66. Connettori diversi. — 67. Manovella; semplice, doppia; Ginocchio.

65. *Guide diverse.*—Alla estremità dell'asta dello stantuffo viene articolato il connettore, che ne trasmette il moto o al bilanciere o più spesso direttamente alla manovella. Nell'un caso e nell' altro, siccome il connettore in talune parti della gita si dispone obbliquamente, ad angolo con l'asta, avviene una scomposizione della forza, ed una parte di questa tende a spingere l'asta obbliquamente, come dicemmo studiando la macchina di Watt (pag. 116). È indispensabile per tanto un congegno che opponga resistenza a questa forza obbliqua, poichè senza un tale provvedimento l' asta sarebbe torta. Il Watt adoperò la guida articolata da lui stesso scoperta; ma oggi se ne fa poco uso, perchè possiamo ottenere l'intento in maniera più facile, a mezzo delle superficie metalliche piane o cilindriche; e inoltre è malagevole mantenere in perfetto stato la guida articolata, imperocchè la sua esatta operazione dipende dalla giusta lunghezza de' varj pezzi, e il logoramento, sempre più o meno irregolare, fa variare tale lunghezza e toglie precisione al meccanismo.

Digitized by Google

Si dànno varie forme all'ordigno di guida; ecco le principali: — La fig. 61 rappresenta la guida di Maudslay, ovvero *a scarpa;* l'asta *a* dello stantuffo è fissata mediante una chiavetta *b* alla forcina di ghisa *c d,* che sostiene il perno *e,* sul quale vien fatta l'articolazione del connettore. In uno con la forchetta è venuta di fusione la lastra rettangolare *f g h i,* e le mensole *l, m,* che uniscono la lastra alla forchetta. Le superficie, inferiore e superiore, della lastra sono ben spianate, come pure gli orli verticali paralelli all'asta. Alla base della macchina son fissate, per mezzo di pernj a vite, le righe di ghisa *no, pq,* anch'esse spianate e perfettamente paralelle all'asta. Sopra queste righe posa la lastra della forcina, e come vedesi nello spaccato B, i suoi orli combaciano con gli orli corrispondenti delle righe, sì che non può muoversi lateralmente, nè verso giù; ed inoltre è impedita di sollevarsi, dalle altre due righe *rr, ss,* fermate alle prime mediante i perni a chiocciola *t, u,* ecc. Cosicchè mentre la forchetta è libera di scorrere per lo lungo, è perfettamente resistita ogni forza che tenda a deviare l'asta dal suo cammino rettilineo.

Nella *guida a croce,* fig. 62, all'asta *a* dello stantuffo è imbiettata una traversa, un pezzo a croce, *bc,* sulle cui estremità sono posti due pezzi di ghisa *f, g,* che scorrono, insieme alla traversa, fra le righe *hi, lm,* di ghisa. Le guide superiori sono unite alle inferiori per mezzo di viti e chiocciole, affinchè il congegno si possa smontare; i pezzi *f, g,* hanno labbri sporgenti, i quali, stropicciando sugli orli interni delle guide, impediscono il moto laterale. Il connettore dev'essere biforcato, e si articola sulle porzioni *d, e,* della traversa, fatte di proposito cilindriche. Per difendere l'asta da qualche forza obbliqua che potrebbe risultare dal logoramento irregolare delle guide, le estremità del pezzo a croce sono cilindriche, e cilindriche son pure i fori de' pezzi *f, g;* dimodochè questi potrebbero girare alquanto per l'im-

Digitized by Google

perfezione delle guide, senza trasmettere all'asta la forza che tendesse a torcerla.

La guida ad E, fig. 63, è spesso adoperata nelle macchine marine per l'elica: le due righe *ab, cd,* sono rigidamente fissate all'armatura della macchina, e fra di esse scorre il pezzo di guida *ef*, al quale è imbiettata l'asta *g;* in *h* si vede lo spaccato del perno, fisso nella forchetta del connettore, e ch'è circondato da bronzi per la compensazione del logoramento. Le lastre *i l*, mantengono il pezzo di guida nel cammino stabilito, essendo imprigionate fra le righe *ab, cd.*

Per le piccole macchine si adopera talvolta la *guida cilindrica*, disegnata nella fig. 64; l'asta *a* viene prolungata in *b,* e questa parte *b* scorre in un pezzo fisso *c* di ghisa, foderato per lo più di un bronzo, affine di poter cangiare le superficie quando esse si logorano; il connettore è biforcato e lo si articola al pezzo a croce *de*, imbiettato all'asta. L'operazione di questa guida è men buona di quella delle altre che abbiamo descritto, poichè il punto in cui è resistita la forza disturbatrice è alquanto lontano da quello in cui essa opera, e quindi vi ha maggiore flessibilità, l'asta tende a piegarsi; e perciò si adopera questo ingegno solamente nelle piccole macchine, in cui si può senza inconvenienza dare un eccesso di forza resistente ai pezzi.

Nella fig. 65 abbiam rappresentata un'eccellente guida che partecipa di quella di Maudslay e di quella a croce, e che diremo perciò *guida composta:*—Il pernio *a* della forchetta si prolunga d'ambe le parti, e su di esso son situate i pezzi scorrevoli *b*, *c,* come quelli della guida a croce. Questo sistema ha il vantaggio su quello a croce, di non esser necessario un connettore biforcato, ed è superiore alla guida di Maudslay, perch'è più semplice, e perchè le superficie delle righe sono più vicine al perno da guidarsi.

Digitized by Google

66. *Connettore.* — Al pernio del pezzo di guida si articola un'estremità del connettore (1), di cui l'altra estremità è articolata al perno della manovella. In una macchina a doppio effetto il connettore trasmette la forza ora tirando, ora spingendo; in quest'ultima maniera se la forza non gli fosse precisamente paralella, esso tenderebbe a incurvarsi, e siccome il punto in cui avverrebbe con maggiore facilità tale incurvamento è quello centrale, così si dà al connettore una certa rigonfiatura nella sua parte mediana, a fine di rendere la sua resistenza possibilmente uniforme.

Quantunque il pernio della manovella trasmetta la forza medesima di quel della guida, pure lo troviamo sempre di maggior diametro; e per la ragione che il logoramento dell'occhio del connettore rispondente al pernio della manovella, è maggiore di quel dell'altro occhio che va sul pernio della guida: poichè il pernio della manovella rotea tutto in giro, mentre l'altro oscilla solamente: per far sì dunque che i bronzi si logorino ugualmente, i meccanici costruttori dànno al pernio della manovella maggior superficie, e quindi maggior diametro. Un'altra causa di questa differenza è, che il pernio della guida è ordinariamente sorretto da ambo i lati, mentre quel della manovella è per lo più fermato da un lato solo, e però per avere la medesima resistenza dev' esser più grosso.

È chiaro che per evitare le scosse sia necessario un artifizio il quale mantenga costanti i diametri de' fori, compensando il logoramento e facendo sì che i pernj sien sempre bene abbracciati dagli occhi; in caso diverso i pernj urterebbero ora un lato del foro ora l'altro. Ecco alcune delle svariatissime maniere in cui si ottiene tale intento: — fig. 66; nell'estremità *a* del connettore è pra-

(1) *Bielle* de' francesi.

ticato un foro di forma semiottangolare a sinistra, rettangolare a destra; in esso sono aggiustati i due bronzi *b*, *c*, combacianti nell'esterno coll'interno del foro; in ciascun di essi è fatta una cavità semicilindrica, di guisa che quando vengono posti insieme nel cavo del connettore formano entrambi un foro cilindrico *d*, rispondente al pernio della guida. Perpendicolarmente a questo foro è scavato nel connettore un canale di sezione rettangolare che vedesi di punta in *e*; il lato del canale che coincide col bronzo è dritto, l'altro dirimpetto è inclinato; e in esso è aggiustato il conio, ossia chiavetta, *fg*; e questa si appoggia dal lato sinistro sul bronzo, dal lato destro sulla parete del canale. Se tra gli orli de' bronzi vi sia uno spazio, allora cacciando giù la chiavetta il bronzo destro sarà ravvicinato al sinistro, e così può compensarsi il logoramento. Talvolta si lascia tale spazio fra i lembi contigui de' bronzi, a fine di poterli ravvicinare anche durante il cammino della macchina; ma ciò apporta qualche inconveniente: se le chiavette non sieno ben serrate, in guisa da star salde, il moto della macchina le fa rallentare e venir fuori; e quantunque il più delle volte esse sieno munite di speciali congegni da mantenerle a posto, e che descriveremo più innanzi, pure è sempre più facile l'assicurarle quando si possono cacciar ben bene a posto; se èvvi spazio libero fra gli orli de' bronzi ciò non può praticarsi, poichè i bronzi verrebbero stretti troppo fortemente sul perno, e ne nascerebbe, per lo meno, eccessivo attrito. È meglio, dunque, che i bronzi si combacino a dirittura, sia direttamente, sia per l'interposizione di sottili laminette di ottone, o di latta. In quest' ultima maniera si ha il vantaggio di poter assai facilmente operare la compensazione, togliendo ad una ad una le laminette, mano mano che i bronzi si logorano; nell'altro modo bisogna togliere i bronzi e limarne gli orli. Sia nell' una guisa

che nell'altra, le chiavette si posson mantenere ben serrate senza paura che i perni ne sien troppo stretti, essendo che la pressione è sostenuta affatto da' bronzi medesimi.

Se ambi gli occhi del connettore fossero costruiti nella foggia che abbiam descritto, per ismontarlo sarebbe necessario, o togliere i pernj, o rimuovere lateralmente il connettore medesimo; ciò non è sempre possibile, e infatti con la manovella doppia disegnata nella fig. 74, e con la guida a croce, sarebbe impraticabile anche mettere il connettore in opra. In tali circostanze è necessario adoperare un occhio composto, fatto, cioè, in due pezzi: ne abbiamo uno alla estremità destra della fig. 66. Il connettore termina in un calcio rettangolare *h*, su cui posa il bronzo interno *i;* il bronzo esterno *l* è tenuto a posto mediante la fascia *mn*, che alla sua volta è collegata al calcio, per mezzo della chiavetta *op*, confitta in apposito canale fatto nel calcio stesso. Se la faccia inclinata del conio venisse direttamente in contatto con le pareti dei fori praticati nella fascia, questa, assai flessibile per la sua forma, ne verrebbe aperta e guasta; ad impedire ciò il foro è più largo, e insieme con la chiavetta *op* contiene quella a denti. *q*, la quale fu introdotta nel foro prima della *op*, e poi spinta verso sinistra, di guisa che le estremità della fascia ne rimasero imprigionate fra i denti *r*, *s*, e non possono allontanarsi. Il conio a denti ha la faccia interna inclinata quanto quella dell'altra chiavetta, e in verso contrario, sì che le due facce esterne riescono paralelle. Il foro della fascia non coincide esattamente con quello del calcio; si trova, invece, alquanto più in fuori, come vedesi nel disegno; i conj riempiscono la parte coincidente dei fori, e quindi quello a denti tocca solamente la fascia, l'altro, dal lato dirimpetto, tocca solamente il calcio in *h;* spingendo la chiavetta *op* in su, si aumenta la larghezza complessiva

delle due chiavette, ed essendo *h* fermo rispetto al connettore, ne segue che la fascia vien tratta verso la sinistra, e avvicina il bronzo esterno a quello interno, tuttavolta che lo permetta lo spazio fra gli orli de' bronzi medesimi. La maniera di trarre in su la chiavetta è questa : come si scorge nella figura, dal conio a denti sporge un pezzo, il quale piegandosi verso destra termina in un occhio, che circonda il perno a vite *t* formante parte della chiavetta; volgendo nell' un verso o nell'altro le due chiocciole, che si vedono l' una sopra, l'altra sotto dell' occhio, la chiavetta è spinta a salire o a discendere, e vien perfettamente stabilita la sua posizione.

Dicemmo che per la guida a croce occorre che il connettore sia biforcato affinchè possa articolarsi sulle due porzioni cilindriche *d, e,* fig. 62 della traversa. La fig. 67 rappresenta un tal connettore : ciascuno de' due occhi *a, b,* della forcina è costruito precisamente come quello composto della fig. 66; l' altra estremità del connettore disegnato nella fig. 67 ci dà un esempio di una specie d'occhio composto assai usitato nelle macchine moderne: il connettore termina nella lastra rettangolare *cd,* sulla quale per mezzo dei perni a vite *ef, gh,* vien fermato il bronzo interno *i;* dai medesimi perni vien sorretto l'altro bronzo *l,* coperto da una lastra di ferro che gli dà maggiore resistenza. La compensazione si effettua mediante le chiocciole *f, h.* Nella fig. 68 abbiamo disegnato la forma presa da quest'occhio nelle grandi macchine marine: come si vede nello spaccato trasversale A, i bronzi, affinchè sieno più leggeri, seguono la forma dei perni; le chiocciole sono serrate mediante un anello, nella maniera seguente: l'anello *ab,* posa sulla lastra *cd,* e non può girare perchè fissato da' piccoli pernj incastrati, di cui ne vediamo uno in *e;* una porzione cilindrica della chiocciola, *f,* penetra nell'anello; e sulla superficie esterna

Digitized by Google

di questa parte cilindrica sono praticate tutt'intorno molte piccole cavità, rispondenti alla punta conica del perno a vite *g*, commesso nell'anello *ab;* quando vuolsi fermare la chiocciola, si volge il perno *g*, sì che la sua punta penetri in una delle cavità; talvolta invece di questi fori, praticano una scanalatura continuata tutta in giro, e in cui penetra la punta del perno.

La fig. 69 porge un occhio di connettore in cui la compensazione si ottiene mediante un perno: il bronzo *a* è spinto verso l'altro, *b*, dal perno *c*, connesso nel massiccio dell'occhio medesimo, e serrato dalla chiocciola *d*. Con la guida ad E si adopera spesso un connettore in cui il perno, invece di esser fissato al pezzo di guida, è unito rigidamente al connettore stesso: nella fig. 70 ne abbiamo un esempio: il pernio *a* è affermato saldamente alla forcina *bc* del connettore, e oscilla dentro il foro, munito di mezzi compensatori, della guida ad E; come vedesi in *h* nella fig. 63.

È da notare che talune delle maniere d'ottenere la compensazione allungano il connettore, tali altre l'accorciano: così nell'estremità a sinistra nella fig. 66, il bronzo esterno rimane sempre nel medesimo posto, rispetto al connettore, l'altro invece si va trasportando in fuori, per effetto della chiavetta che compensa il logoramento spingendolo verso il bronzo esterno; cosicchè il centro del foro cammina mano mano in modo da allungare il connettore. L'altra estremità di questa figura medesima ci rappresenta il caso contrario: qui il bronzo interno sta fermo, e gli si avvicina l'esterno, tratto dalla fascia; il centro dunque si muove verso sinistra, e il connettore tende ad accorciarsi. Perchè il connettore conservi costante la sua lunghezza, conviene che una delle sue estremità sia combinata in modo da accorciarlo, e l'altra in modo da allungarlo; ma bene spesso vediam trascurata questa considerazione, e bisogna supplirvi traspor-

tando i bronzi di tanto in tanto alla loro giusta positura, aggiungendo laminette d'ottone da una parte o dall'altra.

Se le superficie stropicciantisi delle snodature fossero lasciate asciutte, si avrebbe un grande attrito, le cui conseguenze immediate sarebbero il riscaldamento de' pezzi pel calore svolto, la loro dilatazione e l'aderenza molecolare delle superficie, d'onde verrebbe distrutta la levigatezza dei bronzi e in breve ora la macchina sarebbe inutilizzata. È essenziale ad impedire ciò che le articolazioni, le guide, in una parola tutte le parti stropiccianti sieno ben lubricate, cioè mantenute coperte d'uno strato d'olio o di altro unguento: questo diminuisce l'attrito e fa sì che le superficie non vengano mai in contatto intimo, sì che n'è impedita l'aderenza molecolare. Le particelle metalliche strappate per l'attrito, impastandosi con gli unguenti li rendono meno efficaci: importa quindi non solamente che vi sia sempre fra le superficie uno strato d'unguento, ma che esso vi sia sempre rinnovato. Si adopera spesso a tal fine il *lucignolo a sifone*, che vedesi nella fig. 69 e in varie altre: la vaschetta *e*, avvitata all'occhio del connettore, contiene l'olio o altro lubricante liquido; il tubicino che si vede partire dalla superficie interna del bronzo, sporge nel vasetto fino a sopra il livello dell'olio; un lucignolo, di cotone o di lana, introdotto nel tubo, pesca nel liquido e per l'azione capillare se ne imbeve, ed essendo più bassa quella estremità del lucignolo che sta dentro il tubo, i filamenti operano da sifoni e l'olio sgocciola lentamente ma con costanza sulle superficie. Un orifizio che fosse così stretto da lasciar fluire tant'olio quanto ne dà il lucignolo, sarebbe presto otturato dalle impurezze del liquido; e sembra che ciò non avvenga ne' sottilissimi meati de' filamenti organici, appunto per la estrema piccolezza di questi meati: ogni singola corrente che vi si

versa è così tenue da non produrre agitazione nel liquido, che trasporti le impurezze comparativamente di grandissima mole, sì che le infinite bocche microscopiche rimangono presso che libere.

In alcune macchine, in singolar modo nelle marine, sarebbe inconveniente dover fermare per riempire i lubricatori (così chiamano le vaschette co' lucignoli a sifone), e ad ovviare ciò si adopera l'ingegno disegnato nella figura 71 : ad una parte ferma della macchina è attaccata la vaschetta *a;* l'estremità del lucignolo a sifone sporge alquanto fuori del tubo, e la posizione è stabilita in modo che la manovella nel girare secondo la freccia faccia lambire al becco *b* l'estremità del lucignolo, già piena di olio; epperò in ogni giro vien mandata a' bronzi una piccola quantità del lubricante. Un simile meccanismo può adattarsi pure all'altra articolazione del connettore.

67. *Manovelle diverse; Ginocchio.* — La fig. 72 rappresenta la manovella semplice ordinariamente adoperata nelle macchine a vapore : consiste in una robusta leva, ovvero manico, imbiettata assai bene sull'estremità dell'albero, e da cui sporge un pernio *a,* sul quale si articola il connettore; questo è mantenuto a posto dalla ghiera *b,* fermata al pernio da una copiglia spaccata. Talvolta la manovella prende la forma di un disco da cui sporge il pernio; ne abbiamo un esempio nella fig. 73.

Quando occorre comunicare la forza da ambo i lati del connettore, si adopera o la manovella doppia, oppure il *ginocchio,* o *gomito* che si voglia dire; la fig. 74 ci mostra la manovella doppia: come si vede, il perno è unito a due manovelle simili disposti e a' due lati, sì che roteano tuttadue le sezioni d'albero. Nelle macchine marine a ruote, come vedremo più innanzi, le porzioni esterne dell'albero, quelle che portano le ruote a palette, posano sui fianchi del piroscafo, e per conseguenza è impossibile appoggiarle perfettamente; subiscono sempre un

Digitized by Google

movimento irregolare più o meno grande, per l'elasticità della nave e per l'urto delle onde; la porzione d'albero che posa sul castello della macchina, nel mezzo, è invece appoggiata benissimo: ne conseguita che non conviene unire rigidamente le due manovelle *a*, *b*, poichè l'una *a*, è attaccata alla parte bene appoggiata dell'albero, l'altra, *b*, è imbiettata alla porzione che deve per forza subire un certo movimento irregolare. L'unione è combinata così: il pernio *c* è ribadito benissimo nella manovella *a*; l'occhio della *b* è alquanto più grande, in diametro, del perno, sì che rimane tutt'intorno un certo spazio; sulla estremità del perno sono praticate due faccette di cui ne vediamo una in *c*, e nell'occhio della manovella sono incastrate due piastre, che vedonsi di punta in *d*, *e*, nella veduta parziale A; queste piastre combaciano con le faccette del perno, e ne viene che questo spinge perfettamente la manovella *b* nel verso della rotazione, e nel tempo medesimo le lascia una certa libertà di moto di traslazione. Infatti è chiaro che l'albero *g* può inclinarsi alquanto in su e in giù senza che la manovella *a* ne sia sforzata, e ciò per lo spazio libero che èvvi sotto e sopra del perno nell'occhio di *b*.

Con la manovella doppia l'albero vuol essere sorretto da cuscinetti a' due lati, come in *f* e in *g*, fig. 74; ma occorre talvolta formare una manovella in un albero corto che sarebbe inconveniente munire di cuscinetti d'ambo i lati della manovella, ed è necessario allora adoperare un congegno che non indebolisca molto l'albero lateralmente, che non lo interrompa; sì che il cuscinetto di un lato possa tener ben salde tutte e due le porzioni d'albero. In tali casi, e sempre ove si vuole la massima solidità, troviamo il così detto *ginocchio* ovvero *gomito*, in cui le due porzioni d'albero, le manovelle, e il pernio sono tutti venuti di fucina in unico pezzo. Nella fig. 75 abbiamo il ginocchio d'una macchina marina da elica;

Digitized by Google

affinchè l'albero riesca assai forte, il perno *a* è grosso quanto l'albero stesso *bc*. La fig. 76 ci rappresenta l'albero a ginocchio d'una macchina locomobile; esso è ritondo dappertutto, e venne da una sola spranga di ferro piegata in caldo alla data forma, indi tornita ne' punti ove gira sui cuscinetti.

Il modo in cui la manovella trasforma il moto d'andivieni d'un bilanciere o d'un'asta nella rotazione dell'albero, l'abbiamo già investigato al § 50.

Digitized by Google

LEZIONE XV.

68. Cuscinetto. — 69. Meccanismi da muovere la Valvola Distributrice.

68. *Cuscinetto.*—Vedemmo (§ 50) nell'analizzare l'operazione della manovella che una porzione più o meno grande della forza motrice tende a spostare l'albero, il quale per tanto dev'essere perfettamente appoggiato, cioè suscettibile unicamente di girare. Un tale appoggio vien dato da' ***cuscinetti, guancialetti, primacciuoli*** che dir si vogliano, e che assumono varie forme secondo le condizioni della macchina: nella fig. 77 abbiamo un cuscinetto da macchina verticale: se rendiamo perfettamente cilindrica una porzione dell'albero e la circondiamo di un pezzo il cui cavo le risponda benissimo e che sia affatto fermo, avremo appoggiato l'albero completamente, poichè non gli sarà possibile muoversi fuorchè girando; ma questo pezzo fermo si logora per l'attrito, il foro tende ad ingrandirsi; ma non egualmente in tutti i versi, sibbene nella direzione della forza più che in ogni altra, e però in un cuscinetto d'una macchina verticale il foro tenderà ad allungarsi dall'alto in basso. Una volta allungato il foro s'intende che l'albero non sarà più perfettamente appoggiato, poichè si potrebbe muovere in su e in giù. E occorre perciò fare in modo che il foro si man-

tenga circolare non ostante il logorarsi della superficie. Nella base del cuscinetto è aggiustato il bronzo *ab*, prismatico all'esterno ed avente una cavità cilindrica nella quale giace il collaro dell'albero (così dicesi la porzione che posa sul bronzo): nel coperchio del cuscinetto *cd*, è aggiustato un secondo bronzo *ef*, simile al primo; mediante le chiocciole *gh*, può avvicinarsi il coperchio alla base, e così vien compensato il logoramento de' bronzi. Sul coperchio è formata una vaschetta *i*, dalla quale, mediante un lucignolo a sifone, trapela continuamente una piccola quantità d'olio sull'albero, e lo mantiene lubricato; come si disse trattando del connettore (pag. 173).

Per le macchine orizzontali questo cuscinetto non sarebbe buono, poichè in queste, essendo la forza fatta orizzontalmente, il logorarsi de' bronzi avviene nella medesima direzione, e non potrebbe essere compensato dall'avvicinamento perpendicolare del coperchio. Per tale cagione ai cuscinetti maestri delle macchine orizzontali marine si dà la forma mostrata nella fig. 78; come vedesi, i bronzi invece di avvicinarsi verticalmente si avvicinano in direzione orizzontale; le chiocciole *a, b,* sono munite di mezzi di serrarle, come quelle che descrivemmo dicendo de' connettori (pag. 171).

Nelle macchine orizzontali da terra, in cui il cuscinetto ha da sostenere il peso di un grande volante, si adoperano sovente i cuscinetti obbliqui, come quello rappresentato nella fig. 79: qui il bronzo esterno si avvicina all'altro obbliquamente, poichè l'effetto combinato della forza orizzontale del vapore e quella verticale del peso del volano, tende a logorare il foro in direzione obbliqua. Spesse volte la base del cuscinetto forma parte dell'armatura medesima della macchina, come nella fig. 78, in cui abbiam dovuto spezzare la porzione inferiore del cuscinetto, appunto perchè in unica continuazione va a costituire l'armatura ovvero castello della macchina.

Stringendo troppo fortemente le chiocciole, l'albero po-

Digitized by Google

trebbe essere sottoposto ad eccessivo attrito; per altro le chiocciole non starebbero salde se non fossero bene strette: è buono perciò interporre fra 'l cuscinetto e il suo coperchio pezzetti di legno ridotti alla giusta spessezza, in modo che permettano di stringer le chiocciole e impediscano nel tempo stesso che i bronzi abbraccino l'albero troppo fortemente. Infatti l'ufficio dell'appoggio è impedire il moto irregolare; e a far questo non occorre che i bronzi premano l'albero, basta che stieno fermi nella voluta posizione.

Come abbiamo già detto altrove (pag. 123), è necessario che sull'albero vi sia una pesante ruota per continuarne il moto allorquando la manovella trovasi sui punti morti; oppure, come si fa quasi sempre nelle macchine marine, sull'albero medesimo operano due cilindri con le rispettive manovelle disposte ad angolo retto.

69. *Meccanismi da muovere la Valvola Distributrice.*—Per far sì che la macchina si muova continuamente da sè sola, è necessario ricavare il moto del meccanismo distributore dalla macchina medesima; e si ottiene per lo più dall'albero. Siccome la manovella può convertire il moto rettilineo in moto rotatorio, così essa può similmente produrre un moto rettilineo dalla rotazione d'un albero: sia *ab*, fig. 80, una manovella, il cui pernio *b* descriva la circonferenza *bcdeb;* articolando al pernio il connettore *bf*, l'estremità *f* percorrerà una retta eguale al diametro del circolo descritto dal perno, ogni volta che l'albero compirà un mezzo giro da *e* in *c* o viceversa; quando il pernio è in *c*, *f* sarà alla estremità superiore della gita, e quando il pernio è in *e*, *f* sarà al punto più basso. Basterebbe dunque attaccare l'asta della valvola distributrice al punto *f*, per ottenere il movimento d'andivieni, epperò la distribuzione del vapore (§ 56).

Ma perchè si possa adoperare una manovella, quale l'abbiamo disegnata, è necessario che si abbia libera la

Digitized by Google

estremità dell' albero, il che avviene di rado; e il più delle volte sarebbe incomodo dover trasmettere il movimento alla valvola da un punto lontano. Per questo si adopera quasi universalmente l'*eccentrico,* che passiamo a descrivere.

Se sia ingrandito indefinitamente il diametro del pernio *b,* fig. 80, il suo centro percorrerà sempre la medesima circonferenza *bcdeb;* e il connettore e il punto *f* percorreranno sempre il cammino medesimo. Se diamo al pernio un diametro tale che egli comprenda o sorpassi l'albero, allora sparisce affatto la manovella, poichè possiam fissare il pernio, così ingrandito, sull'albero stesso, e senza aver bisogno di spezzar questo; la fig. 81 rappresenta tale pernio esagerato che, pel suo eccessivo diametro in rapporto alla lunghezza, possiamo piuttosto chiamare un disco *abc,* e che costituisce l'eccentrico; il suo centro *d* descrive sempre intorno all' albero la circonferenza descritta dal pernio della manovella nella fig. 80, e quindi il moto impresso al connettore e all'asta è il medesimo d' allora. Nella fig. 81 l' eccentrico è orizzontale, epperò la valvola trovasi nel centro della sua gita; nella fig. 82 è mostrato l'eccentrico verticale, e l'asta alla estremità superiore del cammino. La fig. 83 rappresenta la forma generalmente data all' organo in discorso : — L'eccentrico invece di essere massiccio è fatto vuoto, o se vogliamo consta di un anello unito ad un mozzo *ab,* mediante uno o più raggi, come *c;* tale disposizione si sceglie per la leggerezza. L'anello che cinge l'eccentrico, penetra in una scanalatura fatta per riceverlo, come vedesi nella sezione A; sicchè è impedito il suo moto laterale; invece di esser fatto di unico pezzo è in due mezzi uniti mediante pernj e chiocciole, e questo fa sì che si può compensare il logoramento. In *d* è unito all'anello da una chiavetta, il connettore *e,* che va poi ad articolarsi all'asta della valvola.

Il disco eccentrico ci rappresenta dunque un pernio

da manovella, così grande in diametro da comprendere l'albero nella propria sezione: sì che il connettore, il quale con la manovella ordinaria taglia l'asse dell'albero nel suo cammino, rimane sempre al di sotto dell'albero medesimo. E l'anello dell'eccentrico ci significa un grande occhio da connettore; è infatti l'esagerazione di quello che cingeva il perno *b* della fig. 80. Sì che geometricamente, in quanto al moto prodotto, non àvvi differenza di sorta fra l'eccentrico e la manovella ordinaria.

Studiando la manovella vedemmo che quando essa trovasi paralella al connettore, ogni forza trasmessale da questo è affatto inetta a secondare la rotazione dell'albero; e che la tendenza a far roteare l'albero aumenta con l'aumento dell'angolo fra il connettore e la manovella, giungendo al massimo quando questa si dispone ad angolo retto con quello, vicino alla metà della gita. Sarebbe dunque inutile, anzi nocivo, far operare la forza del vapore sullo stantuffo mentre la manovella trovasi sui punti morti; all'incontro quando la manovella trovasi ad angolo retto col connettore, tutta la forza trasmessale da questo viene messa ad utile. Queste considerazioni significano che l'eccentrico dev'essere situato in modo sull'albero, rispetto alla manovella, che, quando questa è sui punti morti la valvola sia chiusa affatto, e che quando la manovella è a metà della gita il meato sia tutto aperto. Tali condizioni si ottengono situando l'eccentrico ad angoli retti con la manovella, come indica la fig. 84; in essa la manovella *ab*, è sul punto morto superiore, ed essendo l'eccentrico *cd* orizzontale, la valvola è a metà di cammino, e perciò chiude gli orifizj da tutte le parti; quando la manovella assume la posizione della fig. 85, quella cioè, in cui tutta la forza ne viene utilizzata, allora l'eccentrico trovandosi al punto più basso, avrà spinta la valvola all'imo del suo cammino, epperò sarà tutto aperto il meato che conduce il vapore al sopra dello stantuffo. Quando la manovella giunge al punto morto infe-

riore, l'eccentrico sarà salito dall'altro lato sino alla metà della gita, e quindi saranno nuovamente chiuse ambe le aperture; allora il volante fa continuare la rotazione dell'albero, l'eccentrico solleva nuovamente la valvola, il vapore penetra sotto lo stantuffo, e questo viene spinto in su; raggiunta la metà del cammino il passaggio sarà interamente aperto, per venire nuovamente chiuso quando la manovella si avvicina all'altro punto morto, e così di seguito.

Considerando la varia velocità con cui si muovono lo stantuffo e la valvola, per effetto rispettivamente della manovella e dell'eccentrico, si scorge una mirabile adattatezza in questa maniera di dar moto al congegno distributore. Infatti gli angoli percorsi dalla manovella e dall'eccentrico, a parità di tempo sono eguali; non così il cammino relativo fatto dallo stantuffo e dalla valvola: mentre la manovella descrive quella porzione di circonferenza che è vicina al punto morto, il moto dello stantuffo è estremamente pigro; nel tempo medesimo l'eccentrico imprime alla valvola la velocità massima; sicchè appena la manovella assume un angolo sensibile, la valvola è già molto avanzata nel suo cammino, ed ha scoperta gran parte dell'orifizio di entrata, per poi aprirlo affatto quando la manovella giunge al punto di massima forza. All'incontro il movimento della valvola divien pigro nel periodo in cui lo stantuffo corre con grande velocità ed opera con forza sulla manovella; il meato rimane così aperto quasi del tutto, appunto in quella parte del cammino in cui lo stantuffo corre più celeremente e genera maggior volume, e in cui la forza s'impiega a maggior vantaggio nel promuovere la rotazione dell'albero. Poi quando la manovella discende alle vicinanze del punto morto inferiore, l'eccentrico, che gradatamente andò chiudendo l'orifizio, acquista relativa velocità e si affretta a chiuderlo affatto allorquando sarebbe inutile l'opera del vapore. E mentre la manovella si aggira an-

cor vicino al punto morto, egli ha già varcato la metà del cammino, ed ha preparato l'apertura dell'inferiore orifizio, per la salita dello stantuffo; quale apertura si rende rapidamente maggiore pel moto oramai aumentato dell'eccentrico.

Le figure 86, 87, 88, 89 e 90, in cui abbiamo disegnato le posizioni relative della valvola e dello stantuffo in varj punti della gita, serviranno a dare un'idea più chiara di questa differenza di velocità relativa: nella figura 86 la manovella è sul punto morto superiore, l'eccentrico è orizzontale a destra; per conseguenza lo stantuffo è al sopra della gita, la valvola è a metà di gita e quindi tutti gli orifizj son chiusi. Nella fig. 87 la manovella si è mossa di un ottavo di giro, lo stantuffo è disceso di *ab;* l'eccentrico si è mosso pure di un ottavo di giro, ma è disceso di *cd,* relativamente assai maggiore di *ab,* sì che la valvola, come si vede, ha aperto buona parte de' meati d'entrata e d'uscita. Quando la manovella ha percorso un altro ottavo di giro, le cose sono come mostra la fig. 88: lo stantuffo è giunto a metà di gita, la valvola ha aperto totalmente il meato superiore alla cassetta, l'inferiore al condensatore; sì che il vapore opera con tutta forza e la manovella è nella giusta posizione di trarne vantaggio. Percorso ancora un ottavo di giro, lo stantuffo è già vicino alla fine della gita, figura 89; la valvola è alquanto salita, ma nel mentre che lo stantuffo discese di *ab,* cioè di quasi $1/3$ della gita, la valvola salì solamente di *dc,* cioè meno di $1/7$ della propria gita, e però rimane ancora bene aperto il meato. Finalmente nel tempo che lo stantuffo si muove con comparativa lentezza da *e* alla fine della gita, la valvola passa alla posizione centrale, e le cose si dispongono come nella fig. 90, cioè la manovella sul punto morto inferiore, lo stantuffo all'imo della gita; l'eccentrico orizzontale a sinistra, i meati tutti chiusi. Indi si ripetono le stesse fasi per la salita. Così, i bisogni dello stantuffo sono del tutto

adempiuti mercè dell'eccentrico, o ciò che varrebbe lo stesso, d'una seconda manovella disposta ad angolo retto con la principale.

Questa sarebbe la maniera di situare l'eccentrico ove non si tenesse conto dell'inerzia, e non si volesse espandere il vapore. Ma la considerazione di questi due elementi importantissimi, come pure di qualche altro vantaggio secondario, induce a modificarla alquanto. Quando lo stantuffo si avvicina al termine della gita, quantunque il suo moto sia rallentato per effetto della manovella, pure, esso e i pezzi a lui legati contengono per inerzia una certa quantità di lavoro meccanico, che dovrebbe estinguersi nelle articolazioni se non fosse provveduto un artifizio all'uopo; e ne seguirebbe un urto, per questo che non possono essere mai perfette le articolazioni dei varj pezzi. Se invece di porre l'eccentrico in modo che la valvola chiuda tutte le aperture sul punto morto della manovella, noi lo mettiamo un poco più in avanti, gli diamo un certo *precesso,* sì che si trovi un pochino aperto l'orifizio d'entrata anche alquanlo prima che lo stantuffo sia giunto alla fine della gita, avremo tolto l'inconveniente: poichè quando lo stantuffo giunge presso al termine del cammino, incontra il vapore che tende a spingerlo indietro, e questo si prende così il lavoro contenuto nello stantuffo e nei suoi annessi; questo viene ricevuto infatti come da una molla che ne spegne dolcemente la foga e lo prepara a ritornare. Nel tempo medesimo abbiamo che anche l'uscita del vapore che si scarica viene intercettata alquanto prima di giungere lo stantuffo alla fine della sua gita; poichè il precesso dell'eccentrico anticipa tutti i periodi: e questa chiusura anzi tempo ajuta pure la fermata, senz'urto, de' pezzi in moto; poichè il vapore rimasto nel cilindro al chiudersi del meato, si comprime per la diminuzione dello spazio e frena perciò lo stantuffo. E ne viene pure che quando si scuopre l'orifizio d'entrata, lo spazio nocivo (§ 61) nel

cilindro e nel passaggio si trova già pieno di vapore di qualche tensione. Il precesso dell'eccentrico, insieme con la larghezza esagerata de' lembi della valvola, rende pure possibile un certo grado d'espansione, essendo che anche il chiudersi della valvola avviene prima della fine della gita (Lezione XIII, § 61).

Il valore del precesso dato all'eccentrico, cioè dell'eccesso sui 90° dell'angolo compreso fra la manovella e l'eccentrico, varia con la velocità con cui ha da muoversi la macchina, e con l'espansione voluta; per lo più è fra' 5 e i 25 gradi; l'anticipo dell'entrata del vapore suol essere circa $1/_{90}$ della gita; il chiudersi del meato d'uscita suole avvenire a circa $^{11}/_{12}$ del cammino; e l'espansione, ottenuta con questo mezzo del precesso, si limita per lo più a 3 volumi in 4, cioè, il meato d'immissione viene chiuso a' $^{3}/_{4}$ del cammino dello stantuffo. Risulta pure dal precesso dell'eccentrico, che il meato d'uscita viene aperto prima di esser terminata la gita dello stantuffo, e quindi il vapore scappa via a un certo punto del cammino, ordinariamente a $^{13}/_{14}$ o $^{12}/_{13}$ dell'intera gita: questa circostanza agevola pure a raddolcire il moto, essendo che lo stantuffo non solamente è spinto indietro alla fine del colpo dal vapore che riceve dalla cassetta per l'anticipo, ma non è più spinto avanti, appunto per lo sprigionamento anticipato del vapore. S'intende che queste conseguenze del precesso tolgono una certa quantità di forza alla macchina, ma pur non di meno è necessario averle, in singolar modo quando il movimento è assai rapido e diviene perciò notevole l'inerzia de' pezzi in moto d'andivieni: infatti troviamo nelle locomotive gli esempj di precesso assai spinto, insieme con lembi assai larghi alla valvola distributrice.

È stato proposto e adoperato talvolta per muovere la valvola distributrice un eccentrico triangolare, che, invece di spingerla in tutti i punti della rotazione, la muove a intervalli, lasciando gli orifizj ora tutti aperti, ora af-

Digitized by Google

fatto chiusi, secondo la posizione dello stantuffo. Ma da quello che si è detto intorno all'eccentrico ordinario si scorge che il moto continuato della valvola anzichè un vizio è un vero pregio, considerata la diversa armonia con cui si rispondono il moto dello stantuffo e quel della valvola. Tanto è vero questo, che de' mille artifizj proposti per muovere la valvola distributrice, oltre all' eccentrico triangolare, nessuno ha potuto surrogare il semplice ma appropriato eccentrico (1).

S'intende che ciò che abbiamo detto intorno al movimento della valvola a conchiglia è perfettamente applicabile anche alle altre valvole distributrici da noi descritte, poichè in fondo constano tutte di orifizj ora coperti, ora scoperti da un pezzo massiccio che vi scorre sopra; così nella valvola a stantuffi, i due stantuffi rispondono a' due lembi della conchiglia, le basi esterne agli orli esteriori, e quelle interne agli orli della cavità.

(1) Sarebbe fuori di luogo in un libro affatto elementare la descrizione dei complicati meccanismi distributori delle macchine da tromba, e di altre macchine senza rotazione; e tralascio pure molti altri ingegni stati proposti intorno alla distribuzione ordinaria, come quelli il cui uso è fin ora dei tutto eccezionale; quantunque alcuni sieno pregevoli per la facilità di ottenere l'espansione variabile senza ingegni appositi, e perchè sciupano meno forza per attrito a paragone della valvola a conchiglia.

—

Digitized by Google

LEZIONE XVI.

70. Direzione del Moto; da che è determinata. — 71. Meccanismo d' inversione ad Eccentrico Libero. — 72. Meccanismo a doppio Eccentrico, ossia Arco di Stephenson.

70. *Direzione del moto.*—In molte circostanze, e specialmente nelle macchine marine, è necessario avere un mezzo di poter cangiare a volontà la direzione in cui si volge l'albero. Qnesta direzione è stabilita dalla positura dell'eccentrico rispetto alla manovella; ritornando alle figure 84 e 85, vediamo infatti che essendo l' eccentrico fermato nella posizione angolare *cd,* l'albero deve per forza girare secondo la freccia e non altrimenti. Nella fig. 84, se ci proviamo a far volgere la manovella verso sinistra, vedremo che l'eccentrico, tirando su la valvola, scoprirà l' orifizio inferiore, e quindi lo stantuffo sarà spinto in su e la manovella ritornerà verso la destra; e la cosa è ancora più manifesta nella fig. 85, poichè l'eccentrico è nella sua posizione più bassa, la valvola quindi lascia libero al vapore di spingere giù lo stantuffo, ed è forza che la manovella discenda e faccia volgere l' albero secondo la freccia (1). Si vede dunque che la manovella tende a girare verso il lato ov'è l'eccentrico. Epperò se

(1) Si veda pure la fig. 88 in cui è disegnata anche la valvola.

Digitized by Google

noi nella fig. 84 mettiamo questo a sinistra invece che a destra, otterremo il moto dell'albero in direzione contraria: infatti nella fig. 85 la valvola avrebbe aperto l'orifizio inferiore invece che il superiore, e la manovella sarebbe spinta su, contrariamente alla freccia.

Ad invertire la direzione del moto basta, per conseguenza, volgere l'eccentrico di mezzo giro rispetto alla manovella; ma si comprende che far questo in pratica non sarebbe facile, considerando che l'eccentrico hassi a fissare nelle due posizioni diverse, e che occorre sovente dover invertire il moto durante il cammino della macchina.

71. *Meccanismo d'inversione ad Eccentrico Libero.* — Tuttavia il medesimo effetto si ottiene in molte macchine marine a ruote, facendo volgere l'albero invece che l'eccentrico, nel modo seguente: — L'eccentrico non è imbiettato sull'albero, vi è mantenuto solamente da due ghiere laterali, sicchè l'albero può volgersi intorno senza comunicare il suo moto all'eccentrico. Intanto questo, per la sua eccentricità, tenderebbe ad assumere sempre una certa posizione, quella cioè della fig. 85, per effetto del proprio peso; se non che è munito di un contrappeso *ab*, fig. 91, che lo equilibra e rende indifferente la sua positura angolare sull'albero. Dalla faccia dell'eccentrico sporge un pezzo ad arco *c d* che vi è saldamente fermato mediante viti; questo pezzo comprende un angolo di 90 gradi (1), sull'albero è fissato un secondo arco *fe*, simile affatto al primo, e posto nel medesimo piano. Quando l'albero gira secondo la freccia, fa girare pure l'eccentrico, per mezzo dell'arco, come se vi fosse imbiettato; se invece, per una cagione qualunque, l'albero si volge indietro, l'eccentrico rimane nella posizione indicata fino a che l'albero non abbia compito mezzo

(1) Ne' casi in cui non vi sia precesso; e nelle macchine marine a ruote è piccolissimo come si disse.

giro, allora l' estremità *f* dell' arco sarà in contatto con *d*, e l'eccentrico sarà nuovamente spinto innanzi dall'albero, ma in verso contrario. La medesima cosa accade quando l' albero torna a volgersi alla dritta : l' eccentrico rimane fermo fino a che l'arco *ef* non venga a spingerlo dall' altro lato; sicchè, dunque, ogni qualvolta sia invertita la rotazione dell' albero, per una cagione qualunque, l'eccentrico rimane fermo mentre l'albero compie metà di giro, di poi lo segue.

Il connettore dell'eccentrico invece di essere articolato permanentemente all'asta della valvola, vi si unisce per mezzo di un gancio, affinchè si possa interrompere la comunicazione del moto; la fig. 92 mostra il meccanismo all'uopo combinato; *a* è il connettore dell' eccentrico, *b* l'asta della valvola; l'astuccio *c* contiene una molla spirale, che, fermata a sinistra al telajo della macchina, mantiene saldo il gancio sopra il pernio *d* dell' asta. Il piccolo connettore *e* unisce il gancio alla leva *fg*, ferma in *g* e terminata da un manico in *f*. Tirando questo verso la dritta, il gancio si distacca dal pernio, e rimane così rotta la comunicazione fra l'eccentrico e la valvola; intanto la molla in *c* tende a far ritornare il gancio; ad impedire che questo accada è fissato dietro alla leva manuale (la chiamano volgarmente *leva di marcia*), un arco di ferro *hi*, in cui sono tagliati due intacchi nei quali può incastrarsi alquanto la leva, spingendola indietro, e noi quando l'abbiamo tratto alla destra, contro la tensione della molla, la facciam penetrare nell' intacco *l* e così resterà ferma finchè vogliamo.

A fine di poter muovere la valvola senza che vi operi l'eccentrico, l'asta termina in un pezzo dentato *mn*; i denti di questo rispondono a quei del rocchetto *o;* l'albero che porta il rocchetto può scorrere alquanto per lo lungo ne' proprj cuscinetti, e quindi si può fare che i denti imbocchino o pur no secondo si vuole; nella posizione del nostro disegno i denti sono impegnati, ma se

Digitized by Google

si spinge l'albero un po' verso sinistra, il rocchetto passa oltre e l'asta rimane libera. Sull'albero medesimo è incuneata la ruota a manichi p, mercè la quale si può volgere in un verso o nell' altro il rocchetto, e così ottenere il moto in su o in giù della valvola. È evidente il perchè si fa scorrevole l'alberetto: se i denti rimanessero sempre impegnati, il muoversi dell' asta della valvola nell'andamento regolare della macchina farebbe volgere ora a destra ora a sinistra la ruota a manichi, il che sarebbe inutile ed inconvenientissimo.

Tale essendo il meccanismo vediamo il modo di adoperarlo : — L' albero maestro si volge ordinariamente nel verso indicato nelle figure 84, 85, 91; vogliasi invertire la direzione : quando la manovella giunge a un dipresso alla posizione della linea punteggiata ef, fig. 84, si tiri indietro la leva manuale e si ponga nell'intacco l, fig. 92, (questo dicesi *scoccare l'eccentrico*); la valvola perciò si ferma, e considerato il precesso dell'eccentrico, si scorge sùbito che tutti gli orifizj rimarranno chiusi; e la macchina, percorso breve cammino per inerzia, si ferma pur essa, con la manovella un poco al di qua del punto morto. Intanto noi, lasciata nell'intacco la leva manuale, afferriamo la ruota a manichi, la tiriamo, tanto da far imboccare la dentatura, e quindi la volgiamo in modo da mandar giù la valvola: si scuopre così l'orifizio superiore, penetra il vapore nel sopra del cilindro, e lo stantuffo discende facendo volgere *indietro* la manovella e l' albero. Intanto l' eccentrico rimane immobile a circa metà di cammino; la manovella, per l'inerzia dello stantuffo e suoi annessi, compie un poco più del mezzo giro, e va ad incontrar l'eccentrico dall'altro lato; cosicchè la posizione relativa dell'eccentrico e della manovella si rende adatta alla continuazione del moto invertito, e se torniamo ad incoccare il gancio giusto quando la manovella ha varcato il punto morto inferiore, avremo ottenuto l'intento. Si comprende che se non riusciamo ad incoccare

Digitized by Google

l'eccentrico nel punto voluto, dobbiam continuare a muovere la valvola ne' giusti periodi mediante la ruota a manichi. Una volta messo a posto il gancio dell'eccentrico, spingiamo fuori contatto il rocchetto *o*. Volendo ridurre la direzione nuovamento a quella primitiva, dobbiamo scoccare l'eccentrico ed incoccarlo di nuovo dopo che l'albero avrà compito mezzo giro indietro; movendo la valvola a mano, s'intende.

Questa maniera d' invertire il moto, detta *ad eccentrico libero*, riesce assai bene nelle macchine che non girano con troppa velocità, come per esempio quelle marine a ruote.

72. *Meccanismo a doppio Eccentrico.*—Ma quando la rotazione è alquanto celere, come nelle macchine per l'elica; diviene difficile maneggiare la valvola, ed indovinare i periodi giusti in cui si deve scoccare ed incoccare l'eccentrico. De' varj meccanismi proposti per l'inversione del moto in questi casi, il migliore è quello *a doppio eccentrico* (1); tanto che lo troviamo adoperato anche nelle macchine a ruote di recente costruzione; ecco in che consiste:—Fig. 93, 94; sull'albero principale sono imbiettati due eccentrici *f, g;* l'uno ha tale posizione da far roteare l'albero in un verso; l'altro è disposto in modo da produrre la rotazione nel verso contrario; i due eccentrici sono legati da connettori alle estremità dell' arco *ab*, in cui è praticata una fenditura *cd* secondo la sua lunghezza; l'asta *e* della valvola distributrice è munita di un pernio sporgente, il quale, circondato da un bronzo, penetra nella fenditura dell'arco; e quando questo viene animato d'un movimento nel verso dell'asta della valvola, ne verrà mossa pure l'asta e con lei la valvola. Intanto l' arco può scorrere facilmente sul pezzo spor-

(1) Lo sogliono chiamare *settore di Stephenson* (link motion); è invenzione di Guglielmo Howe, operajo nell'officina di Stephenson; e fu applicata da quest'ultimo alle locomotive.

gente e può essere portato (da un meccanismo qualunque), o nella posizione della figura 93, o in quella della figura 94, o in qualsiasi posizione intermedia. È chiaro che situato come nella figura 93 l'asta vien mossa dall'eccentrico *f*, epperò in tale stato di cose l'albero si volgerà nel verso che risponde alla positura di questo eccentrico; e nel mentre l'eccentrico *g*, non fa altro se non muovere l'estremità *a* dell'arco. Quando, invece, l'arco vien fermato come nella fig. 94, la valvola è mossa dall'eccentrico *g*, ed è annullata l'opera di *f*; l'albero rotea quindi in verso contrario. Finalmente se l'arco si situa così che il pezzo sporgente dell'asta stia nel centro della fenditura, allora essendo le due estremità animate di moto eguale e quasi direttamente opposto, è chiaro che nel centro dell'arco il moto sarà quasi affatto di sola oscillazione, e la valvola rimarrà pressochè stazionaria nel mezzo del proprio cammino, e per conseguenza verrà sospeso il movimento della macchina.

Fermando l'arco nelle giuste posizioni si può ottenere una minor gita della valvola, la qual cosa nel tempo medesimo che rende più piccoli gli orifizj d' entrata (chè non si scuoprono del tutto), dà luogo ad una certa quantità d'espansione, poichè i meati vengon chiusi anticipatamente.

Parrebbe a prima vista che i due eccentrici dovrebbero situarsi l'uno rimpetto all'altro; e sarebbe davvero così se non fosse il precesso per l'inerzia e per l'espansione; ma siccome i due eccentrici servono per due direzioni contrarie, così il precesso di entrambi tende ad avvicinare l'uno all'altro; infatti vediamo nelle figure 93 e 94 che l'angolo compreso fra gli eccentrici è minore di 180°, e d'una quantità egualo alla somma del precesso dell'uno e dell'altro.

Spesso invece di praticare una fenditura nell' arco lo si fa massiccio, e allora l'asta della valvola invece di esser mossa mediante il pernio che penetra nella fenditura,

Digitized by Google

vien munita di bronzi sporgenti che abbracciano l'arco dal di fuori.

Il meccanismo adoperato per muovere l'arco varia di forma col variare delle condizioni speciali della macchina; nelle locomotive suol essere una semplice leva, come quella del sistema ad eccentrico libero, *f g*, figura 92; nelle macchine marine, trattandosi di pezzi più poderosi, occorre un congegno più possente; e quello delle figure 93 e 94 può darne un'idea: l'arco è unito, mediante un'asta articolata, ad un settore di ruota a denti, che imbocca con la vite perpetua che vedesi fermata sull'albero della ruota a manichi; volgendo quella nell'un verso o nell'altro è chiaro che l'arco sarà mosso verso dritta o verso sinistra.

Dicemmo che a cagione del precesso de' due eccentrici, questi non riescono perfettamente opposti: e per questo il punto centrale dell'arco non è affatto libero da moto di traslazione. Ne viene pure che variando la posizione dell'arco varia insieme con la gita l'angolo di precesso, ed è ben complicata l'investigazione del movimento esatto della valvola nelle diverse positure dell'arco. Il Rankine (1) dà questa regola approssimativa che può servire a dare un'idea generale della cosa: siano uniti da una retta *a b*, figura 95, i centri de' due eccentrici; e si tiri *c d* parallela ad *a b*; allora i precessi degli eccentrici saranno rispettivamente *a e c*, e *b e d*; dividendo la retta *ab* in parti proporzionate a quelle in cui è diviso l'arco dall'asta della valvola, e unendo il punto *x* di divisione, col centro *e*, il moto della valvola avverrà come se fosse spinta da un eccentrico di raggio *xe*, e col precesso *xec*, ovvero *xed*, secondo che il punto *x* sia a sinistra o a dritta del centro. Conséguita da ciò, che essendo l'arco diviso nel mezzo dall'asta, come nella nostra figura, la valvola si muoverà come se fosse

(1) *Prime Movers*, p. 498.

Digitized by Google

dipendente da un eccentrico di raggio eguale alla distanza fra *ab* e *cd*, e con un precesso di 90°; e che nei punti intermedj fra 'l centro e le estremità si avrà una gita più breve e un precesso più grande di quelli che si hanno nelle posizioni estreme dell'arco.

—

Digitized by Google

LEZIONE XVII.

73. Espansione mediante la semplice conchiglia. — 74. Espansione con la Valvola a Graticola.— 75. Espansione con la Valvola di Meyer.— 76. Espansione a mezzo della Lumaca.—77. Ingegni per l'Alimentazione della Caldaja.—78. Tromba Alimentatrice.—79. Injettatore Giffard.

APPENDICE: — Nota sull'Injettatore.— Compendio delle Lezioni sul Meccanismo della Macchina a Vapore.

73. *Espansione mediante la semplice conchiglia.* — Dicemmo (§ 69) che dando esagerata larghezza a' lembi della valvola, e situando l'eccentrico con precesso notevole, si ottiene una certa espansione del vapore nel cilindro senza ricorrere a meccanismi appositi. Tuttavia, come si disse, l'espansione conseguita con questo mezzo è limitata, poichè il precesso dell'eccentrico non solamente affretta la chiusura dell' orifizio d' entrata, ma pure in certo modo fa anticipare quella dell' orifizio d' uscita; sì che spinto tropp'oltre produce una compressione eccessiva e dannosa.

Quando la conchiglia vien mossa dal meccanismo a doppio eccentrico, se ne può ottenere espansione assai maggiore, ma in circostanze in vero non molto favorevoli: come vedemmo alla fine del § 72, spostando l'arco in guisa da accorciare la gita della valvola si ottiene, insieme all'accorciamento medesimo, un aumento di precesso; e tuttadue queste circostanze tendono, com'è chiaro, ad una maggiore espansione: l'accorciamento della

gita, perchè l'orifizio d'entrata si scuopre meno e quindi si chiude più presto; il precesso, perchè anticipa tutti i periodi, e la chiusura fra gli altri. Ma nel tempo stesso che si ha maggiore espansione si hanno pure varj inconvenienti, ed oltre a quello che già notammo dicendo del precesso (§ 69), ci son quelli che provengono dall'abbreviarsi della gita: non aprendosi gli orifizj del tutto per l'entrata non si aprono nemmeno del tutto per l'uscita, e ciò produce uno strozzamento, evidentemente nocivo, del vapore che si scarica. In certo modo si possono lenire questi difetti modificando le proporzioni, dando per esempio una gita regolare che sia maggiore della necessaria ad aprire gli orifizj d'uscita, acciocchè l'accorciamento ottenuto spostando l'arco, possa influire più sul periodo d'entrata che su quello d'uscita, ecc. Tuttavolta questa maniera di ottenere l'espansione, con l'arco di Stephenson, sembra adoperata quasi esclusivamente nelle locomotive; nelle quali occorre un facile mezzo di cangiare con prontezza la forza fatta dalla macchina, anzichè un ingegno che dia risparmio di vapore. E nelle macchine fisse o locomobili, e in quelle marine, si adopera più sovente una valvola separata, mossa da apposito meccanismo, quando si vuole espansione maggiore di quella fornita dalla semplice conchiglia.

74. *Espansione con la Valvola a Graticola.* — Descrivemmo già (§ 61) la valvola a sportello e quella a graticola; esamineremo adesso le maniere di dar movimento a tali valvole. Talora si adoperano a questo fine le *lumache*, ovvero eccentrici a gradini, che descriveremo più innanzi, e in tal caso l'operazione è identica con quella della valvola a disco (§ 76); ma più spesso si adopera l'eccentrico ordinario, come quello che fornisce un moto più dolce e con maggiore semplicità di meccanismo.

È chiaro che nell'incominciamento della gita dello stantuffo, la valvola da espansione dev'essere affatto aperta,

affinchè penetri liberamente il vapore nel cassetto della valvola distributrice; indi si deve chiudere nel punto in cui vuolsi che incominci l'espansione, deve rimanere chiusa durante l'espansione medesima, e deve aprirsi un'altra volta quando lo stantuffo perviene all'estremità della gita, perchè penetri il vapore per il ritorno dello stantuffo. Da ciò si vede che la valvola dev'essere nel mezzo del proprio cammino quando lo stantuffo si trova all'una o all'altra estremità della sua gita; poichè solamente così può ottenersi che la valvola sia aperta ad ambe le estremità della gita dello stantuffo; e ne consèguita che l'eccentrico che muove la valvola da espansione deve situarsi ad angolo retto con la manovella, senza precesso; a modo che essendo la manovella sui punti morti, l'eccentrico sarà a mezzo cammino. Stabilita così la positura dell'eccentrico, vediamo da quali circostanze dipende il periodo dell'espansione: per semplificare il ragionamento supporremo un solo orifizio e due soli sportelli, e s'intende ciò che troveremo per questa valvola elementare esser pure applicabile a quella a graticola, essendo che in quest'ultima non abbiamo se non una serie più o meno numerosa di orifizj e di sportelli, operanti come quelli che investigheremo: sia *a b*, fig. 96, la parete della cassetta di distribuzione, *c* l'orifizio, *d*, *e*, gli sportelli; A ci rappresenta la positura a metà della gita della valvola, cioè quando la manovella è sui punti morti; perchè l'eccentrico è ad angolo retto con la manovella è evidente che la valvola sarà alla fine del proprio cammino quando lo stantuffo è a metà della gita; e quindi se noi volessimo intercettare il vapore a mezza gita, dovremmo far chiudere la valvola alle estremità del proprio cammino, come in B e in C; ma è manifesto che ciò sarebbe inutile: imperocchè appena chiusa, la valvola comincerebbe a riaprirsi per la continuazione del moto dell'eccentrico. È dunque necessario con questa valvola che la mezza gita dell'eccentrico sia maggiore

della larghezza dell'orifizio, ed è per conseguenza impossibile ottenere l'espansione a metà di gita dello stantuffo, e molto meno a un punto di là della mezza gita. Ma aumentando il movimento della valvola, facendo il raggio dell' eccentrico maggiore della larghezza dell' orifizio, la chiusura avviene prima della fine del cammino, e la valvola rimane chiusa nel mentre che l' eccentrico compie quell'eccesso di moto; così nella fig. 96, in B, se il cammino della valvola invece di essere *fg* sia *fh*, l'orifizio sarà chiuso quando la valvola giunge in *g*, e rimarrà chiuso mentre essa scende fino ad *h* e ritorna nuovamente in *g*. L'espansione comincerà, per conseguenza, tanto più presto quanto più grande sarà la gita della valvola; e ciò vedremo con maggiore chiarezza mercè la fig. 97 : sia *ab* il raggio dell'eccentrico, e sia eguale alla larghezza dell'orifizio: espansione non ce ne sarà, poichè, come si disse sopra, la valvola torna ad aprirsi appena chiusa; ma rendiamo più grande il raggio, facciamolo eguale ad *ac*, allora l'orifizio sarà chiuso quando l'eccentrico giunge in *d*, e resterà chiuso finchè esso non sarà pervenuto in *e* dall'altro lato; ed è manifesto che più si allunga la gita e più grande diventa l'arco *de*, che denota il periodo in cui rimane chiusa la valvola. Intanto è da notare che l'orifizio viene riaperto quando lo stantuffo giunge a distanza dalla fine della gita, eguale a quella a cui si trovava dal principio quando venne chiusa la valvola; cioè se la valvola si chiude a $\frac{1}{3}$ del cammino dello stantuffo, si riapre a $\frac{2}{3}$; se si chiude a $\frac{1}{4}$ si riapre a $\frac{3}{4}$, e via discorrendo: infatti nella fig. 97 la valvola si chiude quando l'eccentrico perviene in *d*, e quando la manovella è in *f* (*daf* essendo angolo retto) e lo stantuffo ha percorso il cammino *gh;* quando *d* giungerà in *e*, *f* sarà in *i*, e per conseguenza giunto *d* in *e*, *f* sarà disceso sino in *l*, ed $il = fi$; epperò la distanza dello stantuffo dall'estremità della gita quando vien riaperta la valvola, è eguale alla porzione di gita *gh* per-

corsa dallo stantuffo prima che la valvola venisse chiusa. Nella nostra figura, *gh* è circa un quinto della gita; sicchè la valvola si chiude per l'espansione a un quinto di cammino dello stantuffo, e si riapre a quattro quinti. Da ciò si vede esser questa valvola, mossa dall'eccentrico ordinario, adatta solamente agli alti gradi di espansione, non minore di 1 : 4 o 1 : 3; e bisogna che la valvola a conchiglia con cui venga accoppiata sia disposta in modo da aver chiuso il proprio orifizio d'entrata prima che la valvola da espansione abbia riaperto il suo.

Importa in molti casi, e in singolar modo nelle macchine marine, poter cangiare, anche durante il moto della macchina, il grado dell'espansione, a fine di adattare la forza svolta alla resistenza da superarsi, e adoperare il vapore sempre con economia. Così quando un piroscafo ha vento favorevole non gli fa mestieri di tutta la forza delle macchine, e però adoperando un buon grado d'espansione può risparmiare il combustibile. Ci dev'essere un mezzo, intanto, di poter modificare tale espansione, poich'è facile intendere che in molte circostanze si rende necessaria tutta la forza che le macchine possono svolgere. Come si disse, con la valvola a graticola il grado dell'espansione dipende dall'ampiezza della gita; e quindi adoperando un meccanismo che faccia variare questa, possiamo ottenere l'espansione variabile. Ecco un ingegno che sogliono usare a tale scopo nelle macchine marine da elica: — Fig. 98; il connettore dell'eccentrico *a* si articola alla estremità *b* dell'arco *bc*, simile a quello del meccanismo a doppio eccentrico, se non che l'altro estremo, invece di esser legato ad un secondo eccentrico, è articolato a un pernio *d*, il quale, insieme all'arco, può scorrere orizzontalmente sopra una guida, allorquando vien tratto da apposito ordigno, che non abbiamo rappresentato nella figura poichè potrebbe essere simile affatto a quello del sistema a doppio eccentrico (fig. 93 e 94); *ef* è l'asta della valvola; se l'arco si trascina verso destra,

in guisa che il connettore corrisponda verticalmente sotto l'asta, questa avrà una gita eguale a quella del connettore medesimo, ma se l'arco si spinge inverso la sinistra, il moto della valvola diminuirà, poi che l'arco nell'oscillare intorno al pernio *d* potrà avere l'intero moto dell'eccentrico solamente all'estremità *b*, e in tutti gli altri punti si muoverà meno. La gita dell'eccentrico è stabilita in modo da produrre la massima espansione voluta, sì che facendo coincidere il connettore con l'asta si avrà il massimo grado d'espansione, e spostando l'arco a destra si avrà un'espansione sempre più piccola, finchè verso l'estremità destra dell'arco la gita sarà tanto breve da non chiudere mai gli orifizj e quindi da non produrre espansione alcuna.

75. *Espansione con la Valvola di Meyer.* — Questa valvola descritta al § 61, fig. 53, vien mossa da un eccentrico ordinario situato ad angolo di 180° con la manovella; il valore della gita rimane costante, e il grado d'espansione si modifica, come si disse, avvicinando più o meno l'una all'altra le due valvole di dietro *e*, *f*, figura 53. Quantunque questa valvola offra assai facilità nel cangiare il grado dell'espansione, è poco adoperata oggidì, forse perchè il suo attrito è maggiore di quel della valvola a graticola, dovendo i pezzi *e*, *f*, stropicciare con doppia velocità, e con una gita più ampia per essere uno solo l'orifizio a ciascuna estremità.

76. *Espansione a mezzo della Lumaca.* — Le *lumache*, ovvero *eccentrici a gradini*, vengono adoperate per muovere le valvole da espansione in quei casi in cui la rotazione della macchina è assai lenta, poichè, come si vedrà or ora, il loro modo di operare non sarebbe compatibile con le velocità notevoli; ecco in che consiste il meccanismo: — Fig. 99; sull'albero maestro *ab*, che vedesi di punta in A, e di fianco in B, è incuneato l'eccentrico a gradini ossia lumaca *ghil*; come si scorge in B la lumaca consta di tre strati diversi; diversi intendo

dire in quanto alla forma, per altro suol essere unico pezzo di ghisa. Osservando di fronte questo pezzo, in A, vediamo che il contorno di ciascuno strato comprende quattro porzioni ben distinte, cioè *de*, *fc*, *gh*, *il*. Il profilo è circolare in tutti e quattro questi tratti, se non che in *fc* e in *de* è di raggio maggiore che in *gh* e in *il*; e le due porzioni di raggio diverso sono riunite da curve, che da un lato sono più ripide, come *dh* e *ci*, dall'altro sono più dolci, come *le* e *gf*. I tre strati della lumaca sono distinti, come vedesi, dalla varia proporzione fra i tratti circolari. Sopra un alberetto *m n*, appoggiato a cuscinetti ordinarj, sono incuneate due braccia *o*, *p*, unite alla parte superiore da un lungo pernio sulla cui superficie è tagliata una vite; questo pernio si può volgere mediante una testa quadrata fatta all'estremità *o*, restando tuttavia nel medesimo posto rispetto alle due braccia; sul pernio è impegnata una chiocciola la quale non può girare, per esser passata da un'asticina non mostrata nel disegno; e la chiocciola fa di pernio ad una rotella *q*, girevole intorno ad essa e che nel tempo medesimo vi è legata da ghiere. Volgendo il pernio nell'un verso o nell'altro, la chiocciola, e con lei la rotella, vien trasportata verso dritta o verso sinistra, ne' limiti, s'intende, dello spazio fra le braccia; e così si può portare la rotella dirimpetto ad uno qualunque degli strati della lumaca. Sul medesimo alberetto è inzeppato un altro braccio, *mr*, al quale vien legata una molla che lo tira forte secondo la freccia: ne consèguita che la rotella *q* è spinta a mantenersi sempre in contatto intimo con la lumaca. Un quarto braccio *ms* si unisce, mediante il connettore *st*, alla manovella della valvola da espansione; nel nostro disegno è un disco *u*, ma s'intende che potrebbe essere anche una valvola a graticola, a coperchio equilibrata, ecc.

Vediamo adesso come opera questo meccanismo: l'albero si volge secondo la freccia; supponiamo che la ro-

tella sia posta sul primo strato della lumaca, come vedesi in B; secondo che l'albero, e con esso la lumaca, gira, la rotella *q* sarà costretta ad allontanarsi inverso destra, essendo che le viene incontro una parte più grande della lumaca; e quando *e* sarà pervenuto alla posizione orizzontale, la rotella avrà fatto inclinare le braccia verso la destra, come vedesi nella fig. 100, e per conseguenza, essendo tratto in alto il connettore *st,* la valvola a disco sarà aperta. Ma già nella fig. 100 la rotella trovasi sul limitare del gradino, e in un altro istante comincerà a ritornare, per la spinta della molla; ritornando, la leva *s* piega nuovamente in giù e la valvola si chiude; tale è la posizione delle cose nella fig. 101. La valvola perdura chiusa fino a che giunge alla rotella l'altro gradino *gf,* e superato questo, si apre nuovamente, e ricomincia la medesima operazione.

Nel principio della gita dello stantuffo, il meato per l'entrata del vapore dev'essere affatto aperto; mettiamo dunque la lumaca in guisa che quando la manovella si avvicina al punto morto, la rotella sia sopra una delle porzioni di raggio maggiore; così nella fig. 99 la valvola sta per essere aperta interamente e la manovella si avvicina al punto morto in *av.* Nella fig. 100 la posizione della manovella risponde a circa un quarto di cammino dello stantuffo, e, come si vede, la valvola è lì lì per chiudersi; sì che questo strato della lumaca taglia il vapore a un quarto circa di cammino, e dà l'espansione di 1 : 4; e fino a che la manovella non si avvicina al punto morto inferiore, la valvola rimane chiusa, come nella fig. 101. Poi pel ritorno in su della manovella avviene precisamente lo stesso con l'altro gradino della lumaca.

Se trasferiamo la rotella al secondo strato, avremo che il chiudersi della valvola avverrà più tardi, come sarà chiaro osservando la fig. 100: poichè se la rotella posa sul secondo strato, la lumaca può girare ancora alquanto senza che la valvola venga chiusa.

Finalmente portando la rotella sul terzo strato, si avrà un'espansione ancora più piccola, essendo che la valvola rimarrà aperta per un tratto maggiore del giro, e quindi il vapore penetrerà per una porzione più grande della gita.

Se poi si voglia sospendere del tutto l'effetto espansivo, basterà togliere la molla e lasciare la valvola sempre aperta.

La ragione per cui sono più ripide le curve *dh*, *ci*, fig. 99, si è che giova chiudere quanto più presto possibile la valvola, affinchè non avvenga strozzamento del meato prima del tempo opportuno. Le altre *le*, *gf*, sono più dolci perchè operano durante che la manovella è vicina a' punti morti, quando cioè il moto dello stantuffo è lentissimo, e quindi non occorre muovere la valvola con molta prestezza; e inoltre, queste due ultime curve vengono esse a incontrare e spingere la rotella, e se fossero men graduali cagionerebbero forti urti; mentre le altre due, invece di spingere la rotella le sfuggono da sotto e le permettono di cadere; basta quindi che tale caduta non sia poi troppo repentina.

Tuttavia l'operar di questo meccanismo non è gran fatto felice, essendo che, in comune con tutti i movimenti d'andivieni che si fanno a salti, ha un certo carattere spasmodico pochissimo confacente alla lunga durata del congegno. E le molle, in singolar modo, si rompono assai spesso, a meno che la rotazione non sia lentissima.

77. *Ingegni per l'Alimentazione della caldaja.* — I pezzi che abbiam fin ora descritto, cioè: il cilindro con la sua valvola distributrice; lo stantuffo con la sua asta; la scatola a trecce; il meccanismo di guida; il connettore; la manovella; l'albero; i cuscinetti; il volante; e l'eccentrico per muovere la valvola distributrice; sono i soli essenziali all'operar della macchina. Ed aggiungendo i meccanismi che servono ad ottenere l'espansione del vapore nel cilindro, abbiam completata la macchina a doppio

effetto, senza condensazione, e con espansione stabilita o variabile. Questo in quanto alla macchina; ma guardando la caldaja vediamo ch'è necessario avere un mezzo di supplire l'acqua che da essa vien tolta in forma di vapore; ed è chiaro l'acqua doversi introdurre a malgrado la pressione del vapore, che tende ad uscire dappertutto. Gl'ingegni inservienti a tale introduzione di acqua nella caldaja diconsi *di alimentazione*.

Con le caldaje delle antiche macchine, nelle quali la tensione del vapore non oltrepassava un'atmosfera e un decimo circa (§ 42), riusciva assai facile l'alimentazione: poichè bastava innestare nella caldaja un tubo contenente una colonna di acqua, alta tanto da far equilibrio all'eccesso della pressione nella caldaja sopra quella atmosferica, perchè l'acqua penetrasse nella caldaja pel proprio peso, ogni qual volta fosse aumentata l'altezza. Così se nel tubo vi sia un metro di acqua sopra il livello nella caldaja, il decimo di atmosfera di eccesso sarà equilibrato; e se noi versiamo nel tubo altra acqua, la pressione non sarà più capace di equilibrar la colonna più alta, e quindi scenderà nella caldaja tutta quell'acqua che noi versiamo dentro del tubo. Ma trattandosi di tensioni un po' elevate, un simile mezzo sarebbe affatto inammissibile, per la grande altezza che bisognerebbe dare al tubo. A questo si potrebbe rimediare disponendo le cose come nella fig. 102: — Il recipiente *a* comunica con la caldaja *b* mediante i tubi *cd*, *ef*, i quali possono chiudersi, volendo, per mezzo di robinetti; chiudendoli tutti e due si riempisce di acqua il recipiente per l'imbuto *g*, e poi chiuso il robinetto di questo, si aprono *f* e *c*; il vapore per la sua forza elastica penetra nel sopra di *a*, e quindi la pressione si rende eguale a quella della caldaja, e l'acqua se ne scende pel proprio peso. È stato proposto di rendere automatico questo congegno, facendo derivare il moto de' robinetti, o valvole che sieno, da un galleggiante posto sull'acqua nel recipiente *a*; la conden-

sazione del vapore pel contatto dell' acqua non sarebbe una vera perdita, poichè tornerebbe tutto il calore alla caldaja, d' onde venne. Tuttavia questo artificio non è adoperato generalmente in pratica; essendo che l'operare de' galleggianti in simili casi è più o meno incerto, e conviene meglio far dipendere l'alimentazione dalla macchina medesima; tanto per conservare un certo rapporto, almeno approssimativo, fra 'l vapore tolto e l'acqua introdotta.

78. *Tromba Alimentatrice.* — Quasi sempre l'alimentazione si effettua mediante una tromba premente, mossa dalla stessa macchina, e che in ogni colpo injetta una certa quantità di acqua nella caldaja. Nella fig. 103 abbiamo lo spaccato longitudinale d'una tale tromba. Nel cilindro di ghisa *ab*, si muove lo stantuffo spostatore *cd*, così detto perchè non toccando le pareti del cilindro, come gli stantuffi ordinarj, opera solamente spostando l'acqua o altro fluido: nell'entrare, esso diminuisce il volume del cilindro, perchè ne occupa una parte lui stesso; nell'uscire lo aumenta, perchè sottrae una parte del volume proprio; la scatola a trecce *ef*, permette il moto dello stantuffo e nel tempo medesimo impedisce l' uscita dell'acqua, o la penetrazione di aria quando lo stantuffo è tratto verso fuori. Il tubo *g* pesca nell'acqua di un recipiente (1), e il suo orifizio per cui sbocca nel cilindro è chiuso dalla valvola a coperchio *h*, la quale può aprirsi dal basso in alto; il tubo *i* comunica con l' acqua della caldaja, e la comunicazione tra esso e 'l cilindro è intercettata dalla valvola *l*, la quale per altro può aprirsi anch'essa dal basso in alto. Muovendo in fuori lo stantuffo, si aumenta il volume del cilindro, e diminuisce perciò la tensione ch'esisteva in esso; la pressione at-

(1) Nelle macchine a condensazione tale recipiente è il tubo di scarico della tromba ad aria, sì che vien mandata alla caldaja l' acqua riscaldata nel condensare il vapore. Soglion chiamare *pozzo caldo* questo recipiente.

Digitized by Google

mosferica, per conseguenza non più bilanciata, spinge l'acqua del recipiente su pel tubo, e sollevando la valvola la fa penetrare dentro la tromba, sì che lo spazio lasciato dallo stantuffo si riempisce di acqua. Quando lo stantuffo torna indietro, l'acqua vien compressa pel minoramento del volume, la sua tensione aumenta, e ben presto si rende maggiore di quella dell'acqua nella caldaja; allora essa apre la valvola *l* e costringe l'acqua di che è pieno il tubo *i* a passare avanti alla caldaja. Non appena lo stantuffo comincia a uscire nuovamente, la tensione nella tromba scema, e la valvola *l* si chiude per la preponderanza della pressione dal sopra; nel tempo medesimo, caduta la forza elastica nella tromba al di sotto di quella atmosferica, si apre *h* ed affluisce nuova acqua dal recipiente al corpo di tromba; e questa alla sua volta sarà costretta dallo stantuffo a penetrare nella caldaja. Si vede da ciò che dando un movimento d'andivieni allo stantuffo, vien mandato alla caldaja in ogni colpo un volume d'acqua eguale, a un dipresso, a quello che genera lo stantuffo medesimo nell'uscire dal cilindro.

Le valvole soglion farsi di bronzo duro, e del medesimo metallo sono pure gli anelli in cui combaciano, poichè se tali superficie fossero di ghisa, la ruggine guasterebbe presto la loro levigatezza e l'acqua vi passerebbe in mezzo. Lo spazio sovrastante alla valvola *l* è chiuso da un coperchio amovibile, fermato per mezzo di viti; e togliendolo si possono smontare tutte e due le valvole, poichè la inferiore è tanto più piccola della superiore, da poter passare per l'orifizio lasciato da questa quand'è tolta. E accade talora dover smontare le valvole, per pulizzarle o altro, mentre che la caldaja è in operazione; ciò rende necessario un mezzo d'interrompere il meato *i*, per impedire che non venga fuori l'acqua della caldaja, e si suole adoperare una valvola oppure un robinetto. Può accadere, per negligenza di chi maneggia la macchina, che rimanga chiuso tale robinetto, o valvola che

sia, quando si mette in opera la tromba: sappiamo che l'acqua è praticamente incompressibile, e ne viene che non trovando sfogo acquista quasi sùbito una tensione tale da mettere in pericolo di rompersi, o il meccanismo che muove lo stantuffo, o la tromba medesima, o i tubi fra lei e la valvola chiusa. In certo modo si ovvia tale danno mettendo una *camera d'aria* sulla tromba, come l'abbiamo disegnato nella nostra figura: nell'andamento regolare delle cose, l'aria vi si comprime a tensione eguale a quella nella caldaja; e nel caso di accidentale chiusura del robinetto interruttore, fa sì che la tensione non aumenti così presto, poichè si deve comprimere l'aria racchiusa, e ciò dà tempo all'acqua di scappare per gli interstizj della scatola a treece, e per le imperfezioni delle valvole ecc., prima che sia attinta una tensione capace di far danno. Tuttavia nelle macchine di qualche grandezza troviamo le trombe alimentatrici sempre provviste di valvole di scarico, tenute chiuse da molle nell'operare ordinario, e che si aprono da sè quando la tensione attinge un'intensità soverchia; precisamente come quelle de' cilindri (§ 58).

La tromba alimentatrice riceve il suo moto da una parte qualsiasi della macchina: spesse volte è mossa da un eccentrico incuneato sull'albero maestro, oppure da una manovella; o da un'asta connessa al pezzo di guida, o allo stantuffo principale.

È impossibile proporzionare così la tromba, che essa mandi alla caldaja precisamente quella quantità di acqua necessaria a compensare la vaporizzazione; tanto più che il vapore preso dal cilindro varia in quantità da un momento all'altro, e vi sono perdite di vapore indipendenti dall'operar della macchina, per esempio lo scappamento per la valvola di sicurezza, ecc. Per tanto le trombe alimentatrici sono sempre molto più grandi (tre o quattro volte) di quanto sarebbe strettamente necessario, e sono munite di un qualche mezzo di regolare la quantità di

acqua injettata nella caldaja. Troviamo nell'uso varie maniere di regolare l'alimentazione: in alcuni casi il meccanismo che dà moto allo stantuffo è congegnato in guisa che si possa interrompere il movimento, sia scoccando un gancio (§ 71), sia togliendo una chiavetta o svitando una vite ecc.; e allora si fa operare la tromba a intervalli, secondo il bisogno della caldaja. Più spesso si adopera un robinetto, ovvero una valvola a vite, che strozzi più o meno il tubo fra la tromba e la caldaja: in questo caso la tromba va di continuo, e l'eccesso di acqua sfugge per la valvola di scarico, ovvero per apposito robinetto. Una terza maniera consiste nell'innestare un robinetto nel cilindro, fra le due valvole, come in *m*, fig. 103; aprendo questo robinetto s'interrompe l'operazione della tromba, poichè nell'uscire dello stantuffo penetra aria, che viene poi espulsa per lo stesso orifizio, ed impedisce, come è chiaro, che la tromba operi; chiudendo il robinetto quando lo stantuffo si trova nella posizione della figura, l'operazione regolare ricomincia. Nella prima e nella terza maniera, la tromba manda l'acqua alla caldaja a intervalli; nella seconda, invece, la injetta di continuo; e per tale ragione è quasi sempre preferita quest' ultima nelle grandi macchine. S'intende che non può adoperarsi con quelle trombe che non sieno munite di valvola di scarico. Talvolta troviamo nell'uso una quarta maniera di regolare l'alimentazione, cioè a mezzo di un robinetto che strozza più o meno il tubo aspirante *g*, fig. 103: ma non è buona, perchè la tromba, non potendo aspirare tutta l'acqua di cui sarebbe capace, rimane parzialmente vuota quando lo stantuffo esce; l'aria esterna tende a penetrare per la scatola a trecce, e però rende incerta e variabile l'operazione della tromba.

79. *Injettatore Giffard.* — Giffard, di Parigi, propose uno strumento assai ingegnoso per l'alimentazione delle caldaje; e quantunque non sia molto adoperato a cagione di qualche difetto costruttivo a quanto pare, ho creduto

bene riportare nell' appendice di questa lezione un mio scritto, pubblicato per la prima volta nel Giornale del Consiglio di Perfezionamento di Palermo, in cui sono investigati in maniera elementare i principj su cui opera questo ordegno veramente bello; e che senza dubbio verrebbe in uso, soprattutto nelle macchine senza condensazione, qualora gli fossero tolti i vizj che presenta nello stato attuale.

APPENDICE ALLA LEZIONE XVII.

NOTA SULL' INJETTATORE GIFFARD PER L' INTRODUZIONE DELL'ACQUA NELLE CALDAJE A VAPORE (1).

La pressione nelle caldaje a vapore è ordinariamente assai maggiore di quella atmosferica; non di rado nelle locomotive essa giunge a 10 atmosfere, dimodochè il vapore e l'acqua tendono ad uscire dappertutto colla forza di 9 atmosfere. Per ricondurre nella caldaja l' acqua che ne esce in forma di vapore, si adopera ordinariamente una tromba a stantuffo spostatore; ma in questi ultimi anni è stato applicato da Giffard di Parigi un congegno detto *injettatore*, mediante il quale viene introdotta l'acqua nella caldaja dalla pressione stessa del vapore, senza l'intervento di meccanismo esterno. Sebbene l'operazione dell'injettatore sia stata bene spiegata da Giffard sul principio delle forze vive, pure sembra che manchi ancora una spiegazione facile ad intendersi con chiarezza, e basata sopra principj più elementari.

La teorica della conservazione della forza, sebbene non matematicamente dimostrata, è sostenuta da tale una probabilità che può benissimo formare la base di una spiegazione; e spesse volte essa sembra fornire un filo che conduce all'intendimento di fenomeni che guardati sotto altri punti di vista offrono grandi difficoltà, sicchè assumendo come assioma l' indistruttibilità della forza si giunge per tale mezzo a dare facile spiegazione a fatti qualche volta apparentemente paradossali : nella seguente memoria ho seguito tale strada, credendola la più semplice e la più persuasiva.

Tutte le parti della superficie interna d'un recipiente con-

(1) Estratto dal *Giornale di Scienze Naturali ed Economiche*, vol. II, 1867, Palermo.

tenente un fluido elastico sono spinte verso fuori con una forza più o meno notevole secondo la tensione del fluido. Con una data tensione la spinta varia colla superficie sulla quale opera.

La quantità di forza, ossia il lavoro, è rappresentato dalla pressione, o meglio dalla spinta, moltiplicata nello spazio percorso.

Supponiamo una caldaja contenente vapore ed acqua, alla tensione di due atmosfere; lo spazio d'intorno sia alla pressione atmosferica. In tali circostanze ogni centimetro quadrato della superficie della caldaja subirebbe una spinta differenziale interna di un chilogramma circa. Supponiamo che nella volta della caldaja fosse praticata un'apertura avente l'area di 1700 centimetri quadrati, e che si lasciasse sfuggire per essa una colonna di vapore alta un metro; le particelle formanti la base di quella colonna, in ogni dato istante riceverebbero dal vapore nella caldaja una spinta in su di 1700 chilogrammi; la base della colonna percorre lo spazio di un metro sotto quella spinta, perchè abbiamo supposto tale l'altezza della colonna, ed essa percorre quello spazio in contatto col vapore della caldaja e però da esso spinta : la quantità di lavoro impresso in quella massa di vapore è 1700 ch. $\times$ 1 m. = 1700 chilogrammetri. Si supponga che un simile orificio fosse praticato nella parte della caldaja contenente acqua; la spinta sarebbe la stessa come nel caso del vapore, essendo eguale la superficie ; lasciando uscire una colonna di acqua alta anch'essa un metro, la quantità di lavoro impresso sopra quella massa di acqua dal vapore della caldaja sarebbe, come nel caso del vapore, 1700 chilogrammetri. Il peso delle due masse sta nel rapporto delle densità, essendo che abbiamo supposto eguali i volumi, dimodochè il peso della massa di acqua è 850 volte circa il peso della massa di vapore. Meccanicamente non havvi differenza tra acqua e vapore; una forza qualunque , quindi , spingerebbe ugualmente pesi eguali di acqua e di vapore o di qualsiasi altro corpo, supposto sempre che la forza operi sopra ogni particella del dato corpo, ciò che avviene nella massa di vapore che abbiamo immaginato , perchè ogni particella alla sua volta riceve nell'uscire la spinta del vapore. Lo stesso

Digitized by Google

accade coll'acqua; e questa circostanza rende superfluo immaginare ciò che avverrebbe intorno ad aggregamento una volta uscito il vapore o l'acqua dalla caldaja nell'atmosfera; poichè siasi qualsivoglia la disposizione delle particelle tra di loro, ognuna di esse deve contenere sempre la porzione di forza impressale nell'uscire dalla caldaja; possiamo dunque stabilire che (tralasciando gli effetti dell'attrito) le particelle avrebbero una velocità tale che la massa intera conterrebbe 1700 chilogrammetri di forza.

S'immagini che quella forza sia diretta ad elevare il vapore nell' un caso, l' acqua nell' altro; il peso dell'acqua è circa 850 volte maggiore di quello del vapore, intanto questi due pesi diversi sono spinti in alto da una stessa quantità di forza. Per una data quantità di forza l'altezza alla quale viene clevato un grave varia inversamente col peso. Nel nostro caso una stessa quantità di forza opera sopra due masse aventi i pesi rispettivi di 850 ed 1; il peso 1 sarà innalzato come 850, il peso 850 sarà innalzato come 1.

La quantità di forza che consideriamo è di 1700 chilogrammetri; il peso di una massa d'acqua quale l'abbiamo immaginato è di 170 chilogrammi, per conseguenza essa verrebbe innalzata di 10 metri: infatti 10m $\times$ 170 ch. $=$ 1700 chilogrammetri. Il vapore pesa invece 0, ch. 2 epperò esso verrebbe spinto a 8500 metri : infatti 0, ch. 2 $\times$ 8500 metri $=$ 1700 chilogrammetri. Possiamo dunque stabilire che una massa di vapore lanciata in alto dalla pressione diretta di un'atmosfera attinge l' altezza di 8500 metri, e ché una massa di acqua similmente lanciata si eleva di 10 metri. Se invece di masse isolate consideriamo zampilli continui di acqua o di vapore, lo stesso ragionamento ci conduce ad ammettere che lo zampillo di acqua si eleverebbe a 10 metri di altezza e che lo zampillo di vapore si eleverebbe a 8500 metri : e questo perchè nel formare quest'ultimo si spende (a parità di peso) 850 volte più di vapore, epperò di forza.

Supponiamo che uscisse dalla caldaja uno zampillo di vapore, il quale, come abbiamo mostrato, s'innalzerebbe di 8500 metri. La spinta del vapore nella caldaja opererebbe sulla base di esso zampillo. Si supponga che mediante un'influenza qua-

lunque si potesse condensare e convertire in acqua quello zampillo ; è chiaro che tale condensazione produrrebbe un restringimento nell'area trasversale dello zampillo, tanto che completamente liquefatto, l' area sarebbe ridotta ad $\frac{1}{850}$ di quella primitiva. Lo zampillo nel condensarsi prenderebbe la forma di un cono tronco, l'area della cui base sarebbe 850, chiamando 1 l'area della parte più piccola; il vapore della caldaja opererebbe sulla base, la pressione dell'acqua, invece, sulla parte più piccola. Quando lo zampillo era di vapore, esso raggiungeva l'altezza di 8500 metri in virtù del suo lieve peso in rapporto al suo volume; adesso che lo condensiamo, la sua densità diviene 850 volte maggiore; ma lo zampillo di vapore avea la stessa area trasversale in tutte le parti del becco, quindi il suo peso operava sopra tutta l'area dell'orificio; condensandolo, come si disse, l'area dello zampillo risultante di acqua diviene soltanto $\frac{1}{850}$ dell'area dell'orificio, sul quale preme il vapore. Ma la spinta fatta dal vapore nella caldaja non è bilanciata da altro se non dallo zampillo di acqua; bisogna dunque che la spinta in giù di quell'acqua sia eguale alla spinta in su del vapore nella caldaja; l'area sulla quale opera il vapore è 850 volte maggiore di quella sulla quale opera l'acqua; perchè le spinte sieno eguali, bisogna dunque che la pressione dell'acqua sia 850 volte maggiore di quella del vapore ; in altre parole bisogna che l' altezza dello zampillo sia 850 volte maggiore di quanto corrisponde ad un'atmosfera, cioè $10 \times 850 = 8500$ metri, anche nel caso in cui sia formato di acqua proveniente da vapore condensato.

A fine di provare esperimentalmente le sopra esposte idee, costrussi l' ingegno mostrato in sezione nella fig. 104 : — Il vapore della caldaja *a*, nel passare attraverso il becco conico *b*, incontrando le pareti mantenute fredde dall'acqua in cui era immerso il becco, si condensava ed usciva in forma liquida dall'orificio superiore. Sebbene l'azione refrigerante delle pareti del becco non era sufficiente a produrre la completa condensazione del vapore, pure l'acqua veniva spruzzata ad intervalli ad un'altezza 4 o 5 volte maggiore di quella dovuta alla pressione ; il quale fatto, atteso il grande attrito inerente ad un becco piccolissimo, mal fatto e lungo, credo

sia sufficiente a garentire l'esattezza del ragionamento, per altro assai semplice, che condusse a predirlo.

Lo stesso effetto potrebbe ottenersi mediante un semplice congegno meccanico, che ci abiliterebbe a modificare a piacere le proporzioni tra la forza spesa e il peso sul quale opera. Nella fig. 105, il cilindro *a*, comunica colla caldaja, e il suo stantuffo *b*, è legato allo stantuffo *c*, del cilindro capovolto *d*; questo contiene acqua nella parte superiore, e nel suo coperchio è innestato un becco:—Supponiamo che l'area dello stantuffo *b*, sia di 10 centimetri quadrati, e che quella di *c*, sia di un centimetro quadrato; aprendo il robinetto *e*, lo stantuffo *b* viene spinto in alto con una pressione di circa 10 chilogrammi, (supposta una pressione di due atmosfere), quale pressione viene trasferita allo stantuffo *c*, e all'acqua in *d*, sulla superficie di *c*, eguale ad un centimetro quadrato; abbiamo dunque una pressione di 10 chilogrammi, l'acqua perciò acquista la tensione di 10 atmosfere circa, e lo zampillo elevato è per conseguenza alto $10^{m} \times 10 = 100$ metri, cioè dieci volte più di quanto sarebbe essendo formato dalla pressione diretta del vapore. Infatti in questo caso il volume di vapore speso sopra un dato peso di acqua non è più eguale al volume dell'acqua, ma è invece 10 volte maggiore. S'intende che aumentando l'area di *a*, in rapporto a quella di *d*, l'acqua verrebbe sollevata ad altezze proporzionatamente maggiori. Se invece di adoperare altra acqua volessimo innalzare l'acqua del quale è formato lo stesso vapore, cioè se volessimo far operare un dato volume di vapore sopra un peso eguale di acqua, otterremmo un innalzamento di 8500 metri. Il congegno prenderebbe la forma mostrata nella fig. 106; il vapore dopo avere operato sullo stantuffo *b*, andrebbe a liquefarsi nel condensatore *c*, il cilindro *d*, avrebbe un'area tale da contenere l'acqua proveniente dalla condensazione; supponendo il congegno vuoto nel cominciare l'operazione, dietro la salita degli stantuffi *a* sarebbe pieno di vapore; cangiata la posizione del robinetto gli stantuffi scendono, ed allora il vapore va a condensarsi in *e*, e poscia colando in *d*, riempie questo cilindro e il rimanente dello strumento rimane nuovamente vuoto; il volume del vapore

nel liquefarsi scema come 850 ad 1, epperò il volume, e l'area di *d*, perchè contenga l'acqua proveniente dal vapore dev'essere solamente $1/_{850}$ dell'area di *b*, sicchè operando sull'acqua in *d*, un volume di vapore 850 volte maggiore del proprio, essa acqua viene spinta ad un'altezza 850 volte maggiore di quella dovuta all'azione di un egual volume di vapore; cioè a $10^m \times 850 = 8500$ metri. Per ottenere tali circostanze bisogna condensare il vapore pel contatto di pareti fredde come abbiamo supposto: se volessimo condensare per injezione di acqua fredda, la massa di acqua risultante sarebbe circa 10 volte maggiore di quella che risulterebbe dal solo vapore; il cilindro *a*, fig. 107, dovrebbe allora essere 10 volte più grande di quanto l'abbiamo supposto, e la differenza tra l'area del cilindro e l'area della tromba sarebbe minore in proporzione: il primo sarebbe 850, la seconda 10; epperò la pressione verrebbe multiplicata 85 volte; l' altezza dello zampillo sarebbe dunque $10^m \times 85 = 850$ metri. Mescolando al vapore quanta acqua è necessaria a condensarlo e facendo operare sulla massa risultante dalla condensazione un volume di vapore 85 volte maggiore del volume dell'acqua, otteniamo il sollevamento di quell'acqua all'altezza di 850 metri (supponendo sempre la pressione del vapore nella caldaja eguale a due atmosfere). Abbiamo già veduto come si ottiene lo stesso risultato senza adoperare il meccanismo da noi supposto, condensando semplicemente lo zampillo di vapore; è chiaro che condensando esso vapore per miscuglio di acqua, si accorcerebbe l' altezza secondo che si aumenta il peso, e che mescolando al vapore quanta acqua basta a condensarlo si avrebbe uno zampillo alto 850 metri. Ora se avessimo un recipiente posto sopra la caldaja, ad un'altezza un poco maggiore di 10 metri, l'acqua di quel recipiente vincerebbe la pressione del vapore e potrebbe penetrare nella caldaja; intanto lo zampillo elevato dal vapore è alto 850 metri, dimodochè potremmo mettere il recipiente a quell'altezza medesima, ed allora la pressione dell'acqua sarebbe 85 volte maggiore di quella del vapore: non solo, dunque, si potrebbe introdurre l'acqua nella caldaja contro la pressione del vapore che sollevò lo zampillo, ma, nelle circostanze suppo-

ste, le si potrebbe dare una pressione 85 volte maggiore. Sì che un semplice zampillo con un recipiente come l'abbiamo immaginato, attuato da vapore a 2 atmosfere, potrebbe introdurre una corrente di acqua pesante dieci volte circa più del vapore adoperato, in una caldaja contenente vapore alla pressione di 85 atmosfere! (1).

Un po' di riflessione ci fa vedere che non è necessario di ricorrere al recipiente, poichè se lo zampillo ha la forza di elevarsi ad un'altezza rispondente alla pressione di 85 atmosfere, è chiaro che esso è capace di vincere una tale resistenza, epperò di penetrare direttamente nella caldaja. Basta dunque dirigerlo orizzontalmente contro un orificio praticato nella parete della caldaja perchè esso vi penetri non ostante la resistenza opposta dal vapore. Siccome ordinariamente il meccanismo alimentatore opera col vapore della caldaja da alimentarsi, sarebbe superflua la pressione che abbiamo immaginato sopra; e per conseguenza invece di mischiare al vapore solamente l'acqua necessaria ad effettuarne la condensazione, se ne può aggiungere assai più e si ottiene tuttavia una pressione maggiore di quella del vapore.

La fig. 108 mostra il modo nel quale vengono applicati i suesposti principj nell'injettatore:—Il tubo *a*, comunica colla caldaja e termina a becco conico; esso becco è circondato da un secondo becco *b*, al quale è unito un corto tubo verticale *c*, che pesca in un recipiente di acqua fredda; un terzo becco è posto dirimpetto agli altri in verso contrario, e comunica coll'acqua della caldaja. Si supponga chiusa la comunicazione tra *d* e la caldaja; aprendo il robinetto di *a*, s'introduce in esso una corrente di vapore che esce dall'orificio di *b*, essa intanto trascina seco una porzione dell'aria contenuta in *b*, e vi forma però un vuoto parziale; la pressione dell'atmosfera spinge per conseguenza l'acqua del re-

(1) Non abbiamo bisogno di notare che questi risultati teorici rimangono grandemente modificati in pratica. L'attrito e l'irregolarità del becco, il raffreddamento incompleto ed altre cause simili diminuiscono di molto l'effetto utile. Ma vi rimane sempre ancora un buon residuo in favore dello effetto che si vuole ottenere. E s'intende che ciò che qui va apparentemente perduto, si trasforma in altra forza non utilizzabile.

Digitized by Google

cipiente e la fa salire nel tubo *c*, riempiendo lo spazio tra i due becchi *a*, *b*; il vapore viene condensato parzialmente dalle pareti fredde, e completamente pel miscuglio coll'acqua tra gli orifizj dei becchi. In tal modo si ottiene lo zampillo di acqua, il quale, come abbiamo mostrato, contiene una quantità di forza assai maggiore di quella che conterrebbe uno zampillo di egual volume spinto direttamente dalla pressione del vapore; e per conseguenza l'acqua tende a penetrare nel becco *d*, con una forza maggiore di quella colla quale tende ad uscirne l'acqua della caldaja; aperta dunque la comunicazione tra il becco *d*, e la caldaja, lo zampillo da *b* vi s'introduce, e si ottiene così una corrente continua attraverso lo strumento: vi penetra d'un lato una certa quantità di vapore; vi si mischia una quantità più o meno notevole di acqua; e poi esce dall'altro lato per rientrare nella caldaja, tanto il vapore uscitone (e liquefatto) quanto quella quantità di acqua che si mischiò ad esso tra i becchi.

La fig. 109 mostra in ispaccato longitudinale la forma generalmente data all'injettatore. È assai importante poter regolare con precisione la quantità di vapore che va a formare lo zampillo, essendo che essa determina la quantità di acqua che viene introdotta nella caldaja: a far questo senza disturbare le altre parti del congegno, nel becco che dà esito al vapore penetra un'asta *a*, terminata in punta cónica; sopra una parte di essa è formata una vite impegnata in una chiocciola formata nel tubo che porta il becco, dimodochè girando l'asta in un verso o nell'altro per mezzo della manovella *b*, la punta penetra più in dentro o si ritira ancora più dall'orificio del becco: in tal guisa si può regolare con molta esattezza l'area anulare tra il becco e la punta dell'asta, quale area costituisce l'apertura per la quale fugge il vapore. Il tubo *c*, pesca nell'acqua che si vuole introdurre nella caldaja; come abbiamo già veduto, la sua altezza è limitata: la forma di cono vuoto data allo zampillo di vapore facilita la sua condensazione pel contatto dell'acqua, e nel tempo medesimo tale disposizione aumenta di molto la sua superficie esterna. A fin di dare la giusta proporzione alla quantità dell'acqua mista al vapore, il becco donde esce quest'ultimo

può avvicinarsi più o meno all'orificio del becco *d;* e si vede che per questa disposizione anche l'acqua forma lo zampillo a foggia di cono vuoto a pareti sottili. Il movimento del becco del vapore si ottiene nel modo seguente: dal tubo che porta esso becco sporge un orecchio *e*, entro il buco del quale può girare la vite *f*, munita di manico: la vite è impegnata in una chiocciola fissa al corpo dello strumento, epperò girandola in un verso o nell'altro essa si avvicina o si allontana dalla madre vite; s'intende che i movimenti longitudinali della vite vengono trasmessi al tubo epperò al becco del vapore. Siccome per imperfezioni inevitabili nella forma dei becchi avviene una certa perdita di acqua tra *d*, ed *h*, è lasciato intorno ad essi uno spazio vuoto al quale è aggiunto un tubo di scolo *g*. Per osservare l' andamento dello zampillo sono praticati alcuni fori intorno all' intervallo fra i becchi *d*, ed *h*, i quali poi si chiudono coprendoli di un anello scorrevole sul fuori del tubo. La valvola *i*, serve per impedire che l'acqua non ritorni dalla caldaja mentre lo strumento non opera.

L'injettatore ha subìto varie modificazioni intorno al modo pratico di regolare il vapore e l'acqua, ma sembra che il modo di azione non sia stato cangiato per nulla. Esso ha ricevuto un'applicazione piuttosto estesa sulle locomotive, mentre in quelle, per le pressioni assai notevoli le trombe a stantuffo spostatore operano con poca regolarità: purnondimeno sembra che l'injettatore non abbia ancora attinto il suo completo sviluppo, poichè la sua operazione non è così certa quanto si potrebbe desiderare per un ingegno alimentatore: basta una piccola ostruzione in uno dei becchi a paralizzarlo completamente. Un altro difetto dell' injettatore è quello di non poter operare con acqua calda, perchè in tal caso non si avvera la condensazione del vapore; e questo dover introdurre l'acqua fredda nella caldaja importa una certa perdita di calore, epperò di combustibile. Nelle macchine a condensazione il condensatore fornisce l'acqua alla temperatura di 50° circa: se invece di adoperare questa, si alimenta la caldaja con acqua fredda, cioè con acqua alla temperatura ordinaria, vogliamo dire di 15°, si ha una perdita di 50° — 15° = 35°,

che in proporzione al calore totale del vapore (cioè 637° circa) risponde a un dipresso a 5 ½ per cento dell' intero calore adoperato. Ma d'altra parte, l' injettatore economizza la forza bisognevole all' azione della tromba alimentatrice (per le macchine fisse tale forza corrisponde a circa 1/400 di quella svolta dalla macchina; per le locomotive ascende a circa 1/200 o ½ per cento); e la mancanza in esso di pezzi in moto lo rende meno soggetto a guasti; epperò sembra probabile che, ove il suo operare fosse reso indipendente dalle piccole cause perturbatrici, l'injettatore surrogherebbe, nel maggior numero dei casi, la tromba a stantuffo spostatore.

Si è tentato di applicare l'injettatore all'innalzamento dell'acqua in generale, ed alla formazione di zampilli di acqua per la propulsione dei bastimenti: ma sembra che in quei casi in cui non riesce utile il riscaldamento dell'acqua sulla quale si opera, l'effetto sarebbe ottenuto tutt'altro che economicamente. Il merito di questo ingegnoso strumento sta in questo, che esso è capace d'introdurre l'acqua nelle caldaje senza spesa di sorta, poichè tutto il calore adoperato torna nella caldaja.

Palermo 5 febbraro 1867.

Digitized by Google

Compendio delle Lezioni sul Meccanismo della Macchina a Vapore.

54. La classificazione delle macchine a vapore suol farsi in tre maniere diverse: pigliando a base il modo in cui opera il fluido; secondo l'uso a cui le macchine sieno destinate; e finalmente secondo la tensione del vapore adoperato. Le due ultime maniere sono viziose perchè non definiscono bene le varie specie, potendosi applicare le macchine ad usi innumerevoli, e potendo la macchina medesima operare con tensioni diverse.

55. Dicesi cilindro il pezzo cavo in cui scorre lo stantuffo e in cui si svolge il lavoro della macchina; gli si dà figura esattamente cilindrica affinchè lo stantuffo possa calibrare bene in ogni parte della gita, e perchè il logoramento sia distribuito in modo eguale tutt'intorno e sia perciò conservata la forma. Si fa sempre di ghisa, tanto per la facilità di formarlo per fusione, quanto perchè questo metallo assume una buona superficie nel lavorare. Almeno una delle estremità del cilindro è munita di coperchio amovibile per l'introduzione dello stantuffo; e tale coperchio è affermato mediante perni e chiocciole che stringono insieme l' orlo del cilindro e quello del coperchio medesimo.

56. La distribuzione del vapore si effettua nelle macchine moderne per lo più a mezzo della valvola a conchiglia: due meati che partono dalle estremità del cilindro sboccano in un piano levigato; tra questi àvvene un terzo comunicante col condensatore; la valvola, in forma di cassetta con l'orlo levigatissimo e che combacia col piano, ricuopre gli orifizj, ed è combinata in modo da poter mettere in comunicazione

col meato centrale, ora quello superiore, ora quello inferiore. Sul piano è affermata una cassetta che comunica con la caldaja, sì che venendo scoperto dalla valvola uno degli orifizj, penetra in quello il vapore; e nel tempo medesimo l'altro risponde alla cavità e comunica perciò col condensatore. Essendo la cavità in comunicazione perenne col condensatore, ne viene che la valvola è spinta fortemente sul piano dal vapore di dietro; pure in quei casi in cui essa non posa sul piano per la propria gravità, prima di essere bene in opera la macchina, il vapore potrebbe penetrare nel condensatore; e in tali casi la valvola si munisce di una molla che la tenga dolcemente in posto.

57. Quando la valvola assume forti dimensioni, diviene importante alleviare la spinta del vapore, poichè nelle grandi macchine sarebbe disdicevole quell'eccesso di resistenza nei pezzi, che nelle piccole non si avverte. L'artifizio consiste nel separare lo spazio sopra il dorso della valvola, dal rimanente, e farlo comunicare col condensatore. Le valvole munite di questo ingegno diconsi equilibrate, per significare che non sono spinte dal vapore su tutta là superficie.

58. Talvolta, per ebollizione tumultuosa nella caldaja o per altre cause, passa insieme al vapore una quantità di acqua al cilindro : e potrebbe cagionare guasti gravissimi. Nelle piccole macchine la conchiglia si attacca all'asta in modo, che le sia permesso un certo allontanamento dal piano, sì che l'acqua possa scappare nella cassetta; nelle macchine marine, potendo avvenire il fenomeno in iscala più notevole, si adoperano sempre, col fine di porvi riparo, le valvole di scarico: sono queste semplici valvole a coperchio, tenute in posto da molle a elica, tanto forti da mantenere chiuse le valvole contro la pressione regolare del vapore, ma che cedono ogni qualvolta siavi nel cilindro una pressione eccessiva.

59. In talune macchine di antica costruzione troviamo una specie di valvola distributrice detta semicilindrica, o a D; è poco adoperata oggi giorno per essere assai pesante e quindi non adattata a' movimenti veloci.

Digitized by Google

60. Si adopera pure qualche volta la valvola a stantuffi, in cui la distribuzione viene effettuata mediante due stantuffi scorrevoli in un cilindretto posto a fianco del cilindro maestro. Questa valvola è di propria indole equilibrata, e presenta pure il vantaggio di meati corti e dritti; pure non è nell'uso generale; preferendosi quasi sempre la valvola a conchiglia.

61. Col dare una lunghezza esagerata a' lembi ricopritori della valvola a conchiglia, ed un precesso notevole all' eccentrico, si può ottenere una certa espansione senza ricorrere a meccanismi speciali; ma essendo che questa espansione naturale è limitata, in quei casi in cui giova espandere assai il vapore, bisogna ricorrere ad ingegni appositi. Oltre alla valvola distributrice si adopera una seconda valvola interposta fra quella e la caldaja, in guisa che puossi interrompere il passaggio del vapore in un punto qualunque della gita dello stantuffo, senza disturbare le altre circostanze della distribuzione. E suol essere o a disco, o a sportello, ovvero a graticola; qualche volta è a coperchio equilibrata. In una specie particolare di valvola da espansione, la distributrice a conchiglia è munita di orifizj alle estremità, e vengono chiusi nei giusti periodi da sportelli scorrevoli sul dorso della conchiglia medesima; e cangiando la distanza fra questi sportelli si cangia il grado dell'espansione. L'inconveniente di questa valvola di Meyer sta nell'attrito degli sportelli, che moventisi sulla valvola pur essa in moto, corrono con raddoppiata velocità.

62. La spinta utile del vapore nel cilindro vien ricevuta dallo stantuffo, ed essendo che questo si muove in virtù della differenza della pressione su' due lati, è chiaro esso dover formare una vera parete che divida in due parti il cilindro. Un semplice pezzo metallico, massiccio, non sarebbe adattato, a cagione del logoramento; si adopera per il vapore di bassa tensione e per le trombe ad aria, uno stantuffo circondato di trecce poste in una scanalatura che può restringersi per via di viti, a fine di mandar fuora le trecce mano mano che si van logorando. Per il vapore di tensione un po'

forte non vale questo mezzo, poichè la canape perde l'elasticità per la temperatura elevata.

63. Si adoperano quasi sempre in oggi gli stantuffi metallici, in cui vengono escluse del tutto le sostanze organiche. Sono di svariatissime forme: nello stantuffo a conj la superficie stropicciante consiste in due anelli interrotti; nel punto d'interruzione di ognuno è interposto un conio, il quale, spinto da apposita molla, spinge alla sua volta l'anello ad espandersi, e lo mantiene per tal modo bene in contatto con l'interno del cilindro. Gli anelli son situati in maniera che le interruzioni non si coincidono, ed è perciò impedito il passaggio di vapore attraverso l'apertura fra le estremità. Questo stantuffo non è buono per le grandi macchine, poichè i conj spingono gli anelli in un punto solo, sì che questi non si allargano egualmente tutt'intorno. E nelle macchine marine si adopera lo stantuffo a molle, in cui l'anello vien spinto fuori da numerose molle disposte in giro internamente all'anello stesso; l'apertura viene interrotta da una linguetta fissata in una estremità della fascia, e che scorre in un incastro praticato nell'altra estremità. Per i cilindri di piccolo diametro si trovano nell'uso molti stantuffi in cui l'espansione degli anelli viene dalla loro medesima elasticità: si preparano più grandi in diametro del cilindro per cui servono, se ne toglie un pezzo, si comprimono, e si fan penetrare a forza nel cilindro; allora tendono per la propria resilienza a ritornare alla dimensione primitiva e si mantengono perciò bene in contatto col cilindro.

64. L'asta vien collegata fortemente allo stantuffo per mezzo di un tronco di cono, fatto sulla sua estremità ed aggiustato benissimo ad una cavità egualmente conica praticata nel corpo dello stantuffo; le superficie sono tratte insieme con grande forza, a mezzo di una vite o di una chiavetta, e aderiscono in guisa da formare un'unione saldissima.

65. Alla estremità dell'asta si articola il connettore che ne porta il moto alla manovella; e per la obliquità di esso in alcune parti del cammino, è necessario un ordigno che impedisca la flessione dell'asta, e dicesi guida. Watt adoperò

con tale fine il suo paralellogrammo articolato; ma oggi non se ne fa molto uso, poichè il logoramento, sempre più o meno irregolare, apporta differenze di lunghezza nelle varie spranghe, e quindi si guastano le proporzioni; per altro le guide a superficie metalliche sono più semplici e più forti. Le troviamo di varie forme : nella guida di Maudslay l'asta è guidata da una tegola di ghisa, scorrevole fra quattro righe del metallo medesimo fermate alla base della macchina; la tegola è in unico pezzo con una forchetta, imbiettata all'asta e che sostiene il perno del connettore. Nella guida a croce il guidamento viene effettuato da due paralellipipedi di ghisa, posti sopra una traversa incuneata all'asta, e scorrevole fra le righe disposte a' fianchi dell'asta medesima; il connettore dev'essere biforcato, e si articola alla traversa ai due lati dell'asta. Nelle macchine marine troviamo spesso la guida ad E, che consiste in una traversa incuneata all'asta e che termina in due lastre a' lati, scorrevoli fra le solite righe di ghisa. La guida cilindrica, ch'è semplicemente un occhio fermo in cui scorre un prolungamento dell'asta, si adopera solo per le macchine piccole, perchè il pezzo di guida è a qualche distanza dal punto in cui opera la forza disturbatrice. La guida composta presenta i vantaggi della guida di Maudslay e insieme di quella a croce; poichè evita l'uso del connettore biforcato, e porta le superficie vicinissimo al pernio da guidarsi.

66. Il connettore trasmette alla manovella il movimento e la forza data dall'asta al pezzo di guida. A fine di rendere uniforme la sua resistenza suol farsi alquanto rigonfiato nella parte mediana. Essendo che i perni stropicciano più o meno dentro gli occhi del connettore, questo dev'essere munito di mezzi di compensare il logoramento; ed è più grande il perno della manovella poichè gira tutt'intorno nell'occhio, e il bronzo si logora dippiù di quel della guida. La compensazione si ottiene mediante una chiavetta, ovvero un perno a vite, che stringa insieme i bronzi che rivestono il perno; perchè questo non sia stretto troppo fortemente, fra i lembi de' bronzi s'interpongono certe laminette d'ottone, che si

vanno levando mano mano che il logoramento esige l'avvicinarsi de' bronzi. Gli occhi del connettore sono semplici, ovvero composti: i semplici son fatti d'un sol pezzo in cui si incastrano i bronzi, e servono per quei casi in cui il perno sia mobile, come nella guida di Maudslay, o se ne abbia libera l'estremità, come nelle manovelle semplici; per la guida a croce, e per le manovelle doppie, non potendosi rimuovere il perno, è forza che l'occhio del connettore si faccia in due pezzi che vengano uniti sul perno medesimo, e dicesi allora occhio composto. Secondo che la chiavetta o il pernio che producono la compensazione sieno posti internamente o esternamente all'occhio, il connettore tende ad allungarsi o ad accorciarsi sempre più; ed è utile che ogni estremità sia munita di mezzi compensatori operanti in verso contrario, sì che la lunghezza rimanga, o tenda a rimanere, possibilmente costante. I bronzi sono forniti di lubricatori che mediante un lucignolo a sifone mandano di continuo una piccola quantità d'olio fra le superficie stropicciantisi.

67. La manovella semplice consiste in una forte leva incuneata all'albero, e da cui sporge un perno sul quale si articola il connettore. Quando si vuol trasmettere il movimento d'ambo i lati del connettore, si adopera la manovella doppia: ad unico perno sono unite due manovelle, e quindi girano insieme le due sezioni dell'albero. Volendosi la massima solidità nel meccanismo, si adopera il ginocchio o gomito, in cui le due manovelle, il perno, e le due sezioni di albero son tutti venuti di fucina in unico pezzo.

68. Il cuscinetto, su cui si appoggia l'albero, serve a resistere a quelle forze che tendono a spostare l'albero medesimo; esso è munito di bronzi e pernj per la compensazione del logoramento. Siccome tale logoramento ha luogo in singolar modo nel verso in cui opera la forza, la direzione in cui si avvicinano i bronzi è diversa secondo la forma della macchina: nelle macchine orizzontali marine, i bronzi si avvicinano orizzontalmente, poichè così avviene il maggiore logoramento; nelle verticali i bronzi si avvicinano verticalmente; e nelle macchine orizzontali da terra, sono spinti

Digitized by Google

obbliquamente, per questo che hassi a compensare l'effetto della forza del vapore, che opera in direzione orizzontale, e insieme quello del peso del volante che opera verticalmente.

Nelle macchine da terra si suole incuneare all'albero una pesante ruota detta volante, e serve a rendere più o meno regolare il moto e la forza per mezzo della propria inerzia; nelle macchine marine non sarebbe ammissibile tale artifizio, e si adoperano invece, quasi sempre, due macchine operanti sopra unico albero, e colle rispettive manovelle disposte ad angolo retto.

69. Per dar moto alla valvola distributrice si adopera per lo più un eccentrico, il quale è identico geometricamente con la manovella, ma col perno così grande in diametro da comprendere l'albero nella propria sezione, sì che il connettore non viene mai a intersecare l'albero, come accade nella manovella ordinaria. Affinchè le aperture per l'entrata e per l'uscita del vapore sieno aperte in quei punti in cui la manovella può ricevere utilmente la forza, e chiuse quando tale forza sarebbe inutile, l'eccentrico si dispone ad angolo retto con la manovella, sì che essendo questa sui punti morti, l'eccentrico sia in posizione centrale e chiuda tutti gli orifizj, e che quando la manovella è sui punti di massima forza, l'eccentrico sia alle estremità della propria gita ed apra del tutto gli orifizj. In oltre, per raddolcire il movimento e per ottenere una qualche espansione nel cilindro, si dà un certo precesso all'eccentrico, in guisa che esso anticipi tutti i movimenti; e allora si ha che quando lo stantuffo giunge alla estremità della gita, trova già alquanto aperto il meato che lascia penetrare il vapore, ed è spinto perciò a ritornare; la qual cosa gli toglie la velocità acquistata, e lo ferma senza urto.

70. La direzione in cui si volge l'albero è precisata dalla positura dell' eccentrico rispetto alla manovella : questa si volge in maniera da seguire l'eccentrico. Se dunque vogliamo invertire la direzione del moto, dobbiamo cangiare la posizione dell'eccentrico relativamente alla manovella.

71. In alcune macchine marine a ruote si opera ciò per mezzo del meccanismo ad eccentrico libero, in cui si fa volgere l'albero di metà di giro mentre l'eccentrico rimane fermo, sì che questo assume allora la posizione adatta a produrre il moto in verso contrario. Ma è adatto solamente alle macchine che girano con piccola velocità, poichè il maneggio pratico del meccanismo sarebbe difficile con le velocità notevoli.

72. Per le macchine da elica e per le locomotive si preferisce il meccanismo a doppio eccentrico: sull'albero sono imbiettati due eccentrici, e l'uno è posto in modo da indurre la rotazione in un verso, l'altro nel verso contrario; i connettori di questi eccentrici sono uniti a un arco che mediante un perno sporgente dall'asta della valvola dà moto a questa; spostando l'arco si può fare che la valvola venga mossa dall'uno o dall'altro eccentrico, sì che la macchina volgerà nell'uno o nell' altro verso. In oltre, portando l' arco in posizione centrale il moto della valvola vien quasi interamente estinto, e la macchina si ferma; e situandolo in posizioni intermedie si ottiene una gita più o meno ampia della valvola, sì che si può regolare pure con questo mezzo la forza della macchina e il grado d'espansione nel cilindro.

73. Con la semplice conchiglia si può ottenere una certa espansione nel cilindro, specialmente quando è mossa dal meccanismo a doppio eccentrico; ma quando si voglia espansione notevole bisogna ricorrere a meccanismi appositi, mossi indipendentemente.

74. La valvola da espansione a graticola vien mossa, o da un semplice eccentrico, o da una lumaca. Coll'eccentrico è adatta solamente agli alti gradi d'espansione, poichè riapre il meato a distanza dalla fine della gita, eguale a quella tra il principio di questa e il cominciamento dell'espansione. Il grado dell'espansione dipende dall'ampiezza della gita, e cangiando questa lo si può regolare anche durante il cammino della macchina: e si fa ciò in alcune macchine marine a mezzo di un arco scorrevole, ad una estremità del quale viene unito il connettore dell'eccentrico, mentre l'altra oscilla sopra

un perno; l'asta della valvola ne riceve movimento mediante un perno che s'incastra in una fenditura fatta nell'arco; cangiando la posizione di questo rispetto all'asta, vien cangiata la gita, poichè ad un' estremità l' arco si muove quanto il connettore, all'altra non si muove punto.

75. Con la valvola di Meyer si ottiene il medesimo intento alloatanando o avvicinando gli sportelli esterni; ma questa valvola ha l'inconveniente di un attrito maggiore, perchè la gita è più lunga, e perchè le superficie scorrono con maggiore celerità.

76. Nelle macchine marine a ruote, e in altre in cui l'albero gira poco velocemente, si adoperano per muovere la valvola da espansione le così dette lumache ovvero eccentrici a gradini: sono pezzi di forma irregolare posti sull'albero maestro, e mediante una rotella ed un sistema di leve dànno il giusto moto alla valvola; la rotella è spinta a mantenersi in contatto con la lumaca da un' apposita molla, ed assume varie posizioni secondo la forma della lumaca, sì che il grado dell'espansione dipende appuato da tale forma. Si adoperano varie lumache disposte l' una vicina all' altra, e passando la rotella dall'una all'altra si può cangiare il grado dell' espansione anche durante il cammino della macchina. Questo ingegno non è adattato a' movimenti veloci, imperocchè opera più o meno a salti, e quindi l'inerzia de' pezzi costituisce una resistenza pressochè insuperabile nell'istante di cominciare il moto.

77. Quando la tensione del vapore nella caldaja è assai bassa, riesce facile l'alimentazione, cioè il somministrare alla caldaja l'acqua necessaria a compensare quella vaporizzata. Basta innestare nella caldaja un tubo in cui possa elevarsi una colonna d'acqua equivalente all'eccesso della pressione sopra quella atmosferica, e allora versando acqua in tale tubo essa scende nella caldaja pel proprio peso. Ma è chiaro non potersi adoperare questo mezzo per le tensioni alte; nè conviene ricorrere a ingegni complicati che mettano la caldaja in comunicazione, ad intervalli, col recipiente in cui sia versata l' acqua mentre esso non comunichi con la cal-

daja medesima. Epperò si adopera quasi sempre la tromba alimentatrice.

78. E consiste in una tromba premente a stantuffo spostatore, e con valvole di bronzo (talvolta nelle macchine marine sono di gomma elastica, come quelle che descriveremo dicendo de' condensatori). Conviene che sia munita d'una valvola di scarico, che lasci scappar l'acqua, caso mai sia interrotta la comunicazione con la caldaja. E la quantità dell'acqua si regola mediante un robinetto o valvola con che si strozza più o meno il meato per cui passa l'acqua compressa. Non va bene restringere, con tal fine, il meato d'aspirazione, poichè così viene a formarsi un certo vuoto nel cilindro, e l'aria esterna tende a penetrarvi e rende incerto l'operar della tromba.

79. Giffard inventò un ingegno il quale injetta l'acqua nella caldaja senza l'ajuto di forza esterna. Condensando una corrente di vapore che esce dalla caldaja, essa ridotta in acqua conserva la velocità che aveva nello stato vaporoso, e nel tempo medesimo si rimpicciolisce assaissimo; e ne viene che tutta quella pressione che operava sul vapore, e quindi sopra un'area grandissima, viene a concentrarsi sull'acqua risultante, cioè sopra un'area forse mille volte più piccola. È chiaro da ciò che l'intensità della forza, così concentrata sopra piccola area, dev'essere proporzionatamente accresciuta, e quindi mille volte più grande. Cosicchè se noi dirigiamo uno zampillo formato per la condensazione di vapore, contro un orifizio praticato nella parete della caldaja, quello vi si introdurrà con immenso eccesso di forza, proveniente dalla concentrazione in ispazio ristrettissimo. Profittando di questo grande eccesso di forza, si può aggiungere al vapore condensato l'acqua appunto necessaria alla sua condensazione, e pur tuttavia la mole del zampillo risultante sarà ancora assai più piccola di quella del vapore che lo forma; sì che ci sarà sempre una grande concentrazione di forza e il zampillo composto penetrerà facilmente dentro la caldaja. Così viene effettuata l'alimentazione: poichè non solo ritorna alla caldaja il vapore (condensato) che spinge lo zampillo, ma

si accoppia ad esso l'acqua dal di fuori che condensò il vapore.

Questo ingegno è migliore della tromba perchè non assorbe forza alcuna, nè calore. D'altra parte non può alimentare la caldaja con l'acqua del condensatore, già a 50° o 60°, poichè questa non potrebbe operare la condensazione del zampillo di vapore. Tuttavia per le macchine senza condensazione sarebbe utilissimo, se non che, sventuratamente, il suo operare non è così certo quanto dovrebbe essere; forse, e senza forse, per imperfezioni costruttive, essendo che la forza c'è, e abbondantissima.

Digitized by Google

PARTE IV.

Le caldaje delle Macchine a Vapore.

LEZIONE XVIII.

80. Scopo della Caldaja. — 81. Fornello e sue Appartenenze. — 82. Forma delle Caldaje. — 83. Caldaja di Watt. — 84. Caldaja Cilindrica. — 85. Caldaja di Cornovaglia. — 86. Caldaje Tubolari. — 87. Caldaja Tubolare orizzontale. — 88. Caldaja Tubolare verticale. — 89. Caldaja di Field.

80. *Scopo della Caldaja.*—Sappiamo che le macchine a vapore devono la loro forza alla tendenza del fluido ad espandersi, ad aumentare di volume; e che il lavoro vien dato a' pezzi mobili appunto nell' atto dell' espansione, (§ 31). È chiaro che tale tendenza espansiva, dando luogo a sviluppo di forza, operando infatti un cangiamento qualunque, debba essere fornita alla sua volta da altri agenti: non possiamo immaginare che la virtù d' indurre cambiamento risieda in modo assoluto in alcuna sostanza. Tutti i corpi contengono forza sotto varie forme; ma se li rendiamo sorgenti di lavoro, essi si rifiutano a darne più d'una certa quantità, si esauriscono; e abbiamo veduto infatti (§ 31) che i fluidi elastici si raffreddano nel dar fuori lavoro meccanico. Sicchè quando si esige un effetto meccanico continuato, è mestieri ricorrere alle sorgenti naturali di forza; e queste per altro vengono di

Digitized by Google

continuo rifatte, per la circolazione costante che si mantiene mercè le trasformazioni vicendevoli. Per esempio, quando adoperiamo un mulino ad acqua, mettiamo a profitto la forza trasfusa nell'acqua medesima, nell'atto di sollevarla, dal calor solare; questo intanto venne diminuito di quantità equivalente (§ 28): non ci è lecito concepire ch'egli sollevò l'acqua senza dispendio; si avrebbe dunque avuto il lavoro del mulino a spese del calor solare. Per altro giova considerare che il mulino ha unicamente dato un altro aspetto alla forza; non l'ha consumata: una porzione di essa sarà racchiusa nelle particelle della farina, che furono strappate dalla positura relativa in cui le manteneva l'attrazione; un'altra parte della forza ritornerà in calore per l'attrito, tal quale era prima; e così per l'intera quantità. Ci è impossibile seguire le varie fasi assunte dalla forza, ma è indubitato che mai sempre avviene trasformazione, e non mai annichilamento di potenza meccanica.

Perchè, dunque, sia possibile il continuo operare di un motore, bisogna che avvenga trasformazione di forza, o per lo meno bisogna che si comunichi forza continuamente da un corpo a un altro. Nella macchina a vapore procuriamo la trasformazione delle forze immesse dal sole ne' vegetabili nel loro crescere, e la conduciamo talmente da ottenerne il voluto effetto: scaldiamo una quantità di carbone; portiamo così le particelle in istato di sentire l'attrazione dell'ossigeno atmosferico, e da questa attrazione così destata viene un rapidissimo avvicinarsi delle molecole; la tensione in cui erano tenute cessa, si uniscono carbonio e ossigeno, e ne risulta un nuovo composto, privo, comparativamente, di forza. Quella che esisteva potenziale nelle particelle in tensione, è divenuta attiva, si è convertita nel moto delle medesime particelle, le quali non potendo perderlo il conservano fino a che non lo comunicano ad altri corpi. Intanto noi avviciniamo a queste particelle moventisi con grande vio-

lenza, in altre parole, sommamente riscaldate, l'acqua che vogliamo convertita in vapore: sappiamo che nella vaporizzazione passa nel fluido una grande quantità di calore ossia moto molecolare (§ 26), e che appunto questo lo eccita ad espandersi (§ 18), e sparisce in parte nell'atto medesimo di svolgersi il lavoro meccanico (§ 31): tale moto molecolare costituisce quindi la sorgente del lavoro dato fuori dalla macchina.

L'oggetto della caldaja è duplice: 1° procurare il calore, per mezzo dell'unione chimica del combustibile con l'ossigeno atmosferico; 2° immettere quel calore nell'acqua a fine di vaporizzarla. Possiamo per conseguenza dividere tutto il congegno in due parti, ognuna delle quali ha scopo diverso: il *fornello*, che serve a promuovere la combinazione chimica da cui viene il calore; e le *superficie riscaldanti* che raccolgono quel calore e lo dànno all'acqua. Come si vedrà più avanti, spesse volte il fornello è compenetrato nelle superficie riscaldanti; pur non di meno giova considerare a parte questi due elementi, per la diversità delle loro funzioni. Essendo che le superficie riscaldanti trasferiscono il calore all'acqua, è evidente che esse devono far parte dell'involucro che forma la caldaja propriamente detta, e il cui oggetto è solo di contenere l'acqua e il vapore.

81. *Fornello e sue Appartenenze.*—Il calore proviene dalla combinazione dell'ossigeno col combustibile: e ne conseguita che questo dev'esser disposto in modo da permettere il facile accesso dell'aria atmosferica che fornisce appunto l'ossigeno voluto; in oltre, il prodotto della combustione non è atto ad alimentare la combustione medesima, anzi la spegne; ed è quindi necessario che ne sia continuamente sbarazzato il fornello, e munito continuamente di nuova aria; nel tempo stesso i gas prodotti son quelli che contengono il calore svolto, dobbiamo quindi portarli in contatto con le superficie riscaldanti, affinchè cedano a queste il loro calore. Ecco come si ot-

tengono queste condizioni : — Il combustibile viene disposto sopra una *graticola, a,* fig. 110, formata di spranghe di ghisa posanti alle estremità in apposite traverse, e che lasciano piccole fessure fra l'una e l' altra ; in A abbiamo alcune di queste spranghe disegnate più in grande: le sporgenze *b, c,* determinano lo spazio lasciato fra ogni coppia di sbarre, e che varia con la specie del combustibile; pel carbone ordinariamente adoperato suol essere a un dipresso un centimetro; si fa la graticola in isbarre divise per essere più agevole cangiare quelle parti che venissero bruciate, come pure per lasciare ogni pezzo libero di espandersi a sua posta senza sforzare gli altri. La bocca *d* del fornello, che serve all' introduzione del combustibile, è chiusa da uno sportello a cerniera di cui or ora comprenderemo lo scopo. Lo spazio *e* sotto la graticola, detto il *cinerario,* è aperto all'atmosfera. Questa maniera di disporre il combustibile sopra una graticola, lascia libertà all' aria di penetrarvi nel mezzo e di circondarlo: vediamo adesso per qual mezzo si ottiene l'influsso dell' aria e l' efflusso de' gas caldi. Il fornello comunica con un meato *f* che passa sotto la caldaja, e che potrebbe anche circondarla (a questi meati de' gas si dà il nome generico di *camini*), e sbocca nel passaggio verticale *g,* detto *canna fumaria:* ed è appunto questa che compie l'ufficio importantissimo di mantenere la corrente di aria attraverso il combustibile. Sappiamo che i gas, riscaldati si dilatano, diventano più leggieri in ispecie ; ne viene che la tensione nella base della canna fumaria, piena di gas più o meno caldi, è minore di quella atmosferica ordinaria in quel livello, poichè la colonna calda occupa una certa altezza che fuori della canna è occupata da aria fredda; e quindi dentro la canna, alla parte inferiore, non può esservi la pressione medesima che esiste nel fuori. E s'intende che la differenza sarà più o men grande secondo che sarà maggiore o minore la temperatura de' gas. È evidente che se noi apriamo un a-

dito qualunque dall'atmosfera esterna alla base della canna, avverrà sùbito una corrente più o men forte in verso quella, e se i gas si manterranno sempre caldi si manterrà ognora la corrente. Precisamente così accade nel fornello: come dicemmo, la base della canna fumaria comunica per il meato *f* con lo spazio sopra la graticola, e poi, per mezzo delle fessure fra le sbarre, col cinerario e però con l'atmosfera esterna: accorre quindi di continuo l'aria atmosferica al cinerario, passa per gli spazj fra le sbarre, avvolge completamente il combustibile in maniera da mantener viva la combustione, passa indi, trasformata in altri gas caldissimi pel meato *f*, cede alla caldaja una buona porzione del suo calore, e sbocca finalmente nella canna fumaria in cui mantiene ognora la voluta temperatura e conseguente differenza di pressione.

È chiaro da ciò che abbiamo detto, esser necessario che i prodotti della combustione giungano alla canna fumaria ancora caldi, e tanto da formare una sufficiente ***aspirazione*** (1); ordinariamente nelle canne fumarie delle caldaje da terra i gas hanno la temperatura di circa 290°; e supponendo l'aria esterna a 15°, si ha una differenza di 290° — 15° = 275°; ciò significa che il volume è raddoppiato a un dipresso, e il peso è divenuto circa metà; dico circa, imperocchè i prodotti della combustione sono più densi dell'aria, a parità di temperatura. In ogni modo è necessario, come si disse, che i gas non sieno del tutto spogliati del loro calore; e nelle circostanze ordinarie circa una quarta parte di tutto il calore svolto deve riserbarsi per la canna fumaria; e si è trovato in molti casi che aumentando la superficie riscaldante, in modo da raccogliere da' gas maggior copia

(1) Giova notare che questa frase, in uso anche in Francia (*tirage*) e in Inghilterra (*draught*), non esprime bene il fenomeno: l'effetto ha luogo, come si è fatto vedere, per la *spinta* dell'aria esterna, non per il *tirare* de' gas di dentro; e in vero un gas che *tira* meccanicamente, non si sa imaginare.

di calore, l'effetto utile della caldaja diminuiva, per la mancanza relativa di aspirazione e pel bruciamento men vivo che ne era conseguenza.

Nelle macchine senza condensazione, e singolarmente nelle locomotive e nelle locomobili, il vapore che si scarica dal cilindro vien condotto ad un becco situato dentro la canna fumaria, e siccome esce con impeto trascina seco i gas, e aumenta assaissimo l'aspirazione; sì che nelle locomotive si brucia grande quantità di combustibile sopra graticole comparativamente ristrette, e appunto per l'intensità della corrente d'aria. In *v* fig. 117, abbiam rappresentato questo becco. Talvolta, pure, si aumenta l'aspirazione mediante un ventilatore a forza centrifuga, mosso dalla macchina stessa; e dovrebbe seguirne un'economia di fuoco, essendo che si potrebbe dispogliare i gas di tutto il loro calore: tuttavia quasi sempre si adotta il mezzo più semplice di lasciare la necessaria temperatura a' gas della canna fumaria.

La rapidità della combustione, e quindi il calore svolto, dipende, come è chiaro, dalla forza più o men grande dell'aspirazione della canna fumaria; ed è necessario aver mezzi di regolare tale rapidità, poichè dipende da questa il quanto del vapore prodotto. Si adoperano due maniere: o una valvola alla base della canna fumaria, ovvero uno sportello sulla bocca del cinerario; e infatti è manifesto che, sia strozzando l'adito alla canna fumaria, sia socchiudendo la bocca del cinerario, si può rendere men veloce la corrente dell'aria, epperò men viva la combustione. Nelle caldaje marine, in quelle delle locomobili, ed altre in cui la canna ha forma ritonda, si adopera una valvola a disco, come quella già descritta a proposito del regolatore (§ 51) e dell'espansione (§ 76); se non che, servendo unicamente per strozzare più o meno il passaggio, è di costruzione ben più rozza. Se ne vede un esempio nella caldaja marina disegnata nella fig. 123. In quelle caldaje da terra in cui la canna fumaria è di fab-

brica, e ordinariamente di sezione rettangolare, si usa più spesso una valvola a saliscendo detta *saracinesca:* nel camino che conduce alla canna è incastrato un telajo di ghisa, in cui scorre d'alto in basso una lastra del medesimo metallo; essa è legata ad una catenella che passa sopra una carrucola, come vedesi in *g* nella fig. 113, e che all'altra estremità è munita di un contrappeso che equilibra la gravità della lastra; questa rimane perciò in quella posizione in cui si mette, e quindi si può regolare benissimo l'apertura del camino e per conseguenza l'aspirazione.

82. *Forma delle Caldaje.*—Allorquando un recipiente è sottoposto a pressione elastica interna, questa tende, secondo la forma, o a difformarlo o a romperlo: nel primo caso esso viene difformato sùbito che la pressione sia capace di piegare le pareti; nel secondo, invece, resiste fino a che la pressione non sia forte tanto da stirarle o romperle. È chiaro esser necessaria una forza assai maggiore a rompere che a difformare o piegare un corpo dato; e per conseguenza è molto più valido quel recipiente che si oppone affatto alla difformazione. La spinta interna operando egualmente sopra tutta la superficie, tende ad aumentare la capacità del vaso, perchè spinge fuori ogni parte delle pareti; la difformazione ha luogo, dunque, quando ne risulta un aumento di volume: questo sarà chiaro dal paragone esperimentale che faremo fra questi due vasi di latta, l'uno cubico, l'altro sferico; mediante una tromba introduco aria nel recipiente cubico; vedete che appena comincia la compressione le pareti si gonfiano, e adesso che il manometro denota 2 atmosfere, sono diventate convesse in maniera sensibilissima, e ci avvertono di non spingere più oltre la pressione. Lasciando scappare l'aria, il recipiente ritorna alla forma iniziale per la propria elasticità. Unisco adesso la tromba al vaso sferico, spesso quanto l'altro cubico; vedete che la pressione va salendo senza che il recipiente

dia alcun indizio di difformazione; ora abbiamo 3 atmosfere, e potremmo spingere molt'oltre ancora la pressione, e il recipiente le resisterebbe fino ad esserne propriamente fiaccato.

La sferica è dunque la forma più acconcia per resistere alle spinte elastiche interne, essendo quella che a parità di superficie contiene il massimo volume. E infatti i primi esperimentatori sulle macchine a fuoco la scelsero per le loro caldaje. Quando si trattava solo di ottenere una piccola quantità di vapore bastava situare la caldaja sferica sopra un fornello, a mezzo d'un treppiede, come si disse descrivendo le macchine d'Erone d'Alessandria. Ma allorquando divennero necessarie grandi quantità di vapore, come nella macchina elevatoria di Savary, fu mestieri trovar mezzi di render più efficace l'operar del fuoco: poichè col metodo rozzo d'Erone la caldaja riceveva solo una piccola porzione del calore svolto dal combustibile.

La fig. 111 rappresenta una caldaja sferica adoperata da Savary, e che noi descriviamo perchè contiene tutte le parti essenziali delle caldaje di oggi: — Il combustibile vien bruciato sopra una graticola *a*, composta di sbarre, come si disse nel § precedente, e che riceve dal cinerario *b* l'aria bisognevole alla combustione. A fine d'indurre un contatto più intimo fra l'aria e il combustibile si mantien chiuso lo sportello *c*, di modo che l'aria aspirata entri solamente per le fessure tra le sbarre. La caldaja *d* è circondata di fabbrica, nel massiccio della quale è lasciato un camino circolare *ef* che cinge la caldaja tutt'intorno; questo camino comunica col fornello pel meato che vedesi in linee punteggiate, e dopo aver circuìta la caldaja, sbocca nella canna fumaria *g*. I prodotti della combustione passano perciò in contatto con la caldaja, e le cedono una gran parte del loro calore. In *h* vedesi la saracinesca, da noi già descritta.

Ma questa forma di caldaja, quantunque la migliore

chi guardi solamente alla resistenza, presenta inconvenienti gravi quando si vogliono quantità notevoli di vapore, e però grandi superficie riscaldanti: infatti sappiamo che fra tutte le forme solide, la sfera è quella che a parità di volume presenta la minor superficie; e ne viene che le caldaje sferiche occupano grande spazio e contengono grandissima mole di acqua. Sì che in oggi non si adoperano quasi mai; e per le alte pressioni si sceglie la forma cilindrica, come quella che si oppone anch'essa alla difformazione e dà maggiore superficie in rapporto al volume; e per le tensioni men forti si adoperano anche pareti piane legate insieme da tiranti, come si vedrà meglio dalla descrizione seguente delle principali sorta di caldaje adoperate oggidì.

83. *Caldaja di Watt.*—Sappiamo che nelle macchine di Watt il vapore era di tensione assai bassa, e per questo il Watt non diede alle sue caldaje le forme meglio adattate per resistere alla pressione, sibbene si limitò a rendere efficace l'operar del fornello e delle superficie riscaldanti. La fig. 112 ci rappresenta questa caldaja: essa ha forma di cassa rettangolare con la volta semicilindrica, e il fondo e le pareti un po' concavi a fine di raccoglier meglio il calore de' gas; l'andamento di questi dal fornello alla canna fumaria è chiaro dalla frecce poste sulla figura. Quantunque la tensione era bassissima, Watt trovò utile legare le pareti insieme per mezzo di tiranti, come vedesi in A, a fine di bilanciare le spinte sulle varie parti della superficie. Ed in alcuni casi, per aumentare ancora più le superficie riscaldanti e per diminuire la mole di acqua contenuta nella caldaja, praticò un camino interno, mostrato in linee punteggiate in A, e fece passare i prodotti della combustione per tale camino al dinanzi della caldaja, d'onde poi se ne andavano alla canna fumaria per i due camini laterali.

La caldaja di Watt non si adopera quasi mai oggidì, a cagione della sua forma debole; poichè a fine di ot-

Digitized by Google

tenere maggiore effetto utile nella macchina, si tende alle tensioni elevate (pag. 131), e per queste sono necessarie le forme cilindriche.

84. *Caldaja Cilindrica.* — Questa caldaja consiste in un semplice involucro cilindrico, terminato da estremità talvolta emisferiche, ma più spesso piane e rinforzato da tiranti. La disposizione del fornello e de' camini è come nella caldaja di Watt. La caldaja in discorso presenta un grave inconveniente: le materie fangose, deposte in quantità più o meno grande da qualunque sorta di acqua naturale per l'ebollizione prolungata, si accumulano, quando cessa l'operar del fuoco, sul fondo della caldaja; e vi posson formare uno strato spesso il quale, indurendosi quando si accende nuovamente il fuoco, impedisca la comunicazione del calore all'acqua, e faccia bruciare le lamiere esposte alla fiamma. E ne potrebbe accadere pure una esplosione parziale, essendo che le lamiere arroventate si rammolliscono sì da non poter reggere alla pressione interna.

85. *Caldaja di Cornovaglia.* — Per evitar questo, e per avere una superficie riscaldante più estesa a parità di spazio occupato, si dà la preferenza quasi sempre, nelle macchine da terra, alle caldaje a fornello interno, ovvero *di Cornovaglia;* la fig. 113 ne mostra il tutto insieme: — Il fornello è costituito dalla porzione anteriore di un grosso tubo che si stende eccentricamente per lo lungo della caldaja, e i prodotti della combustione dopo aver percorso questo tubo medesimo ritornano al davanti pel camino *ab*, passano per il meato *c* all'altro lato della caldaja, e spazzando il fianco *de* se ne vanno alla canna fumaria *f*. Talvolta i camini si dispongono come si vede in sezione trasversale nella fig. 114: dal tubo a fornello i gas si diramano ne' due camini laterali *a*, *b*, e vengono al dinanzi della caldaja; indi discendono, riunendosi, nel camino *c*, e vanno a sboccare nella canna dopo aver percorso il medesimo sino al dietro della caldaja.

Trattandosi di caldaje di grandi dimensioni, per esempio dalla forza di 30 o 40 cavalli, si adoperano due fornelli invece di uno, poichè la pressione tende a difformare questi tubi, e tanto più potentemente quanto più grande sia il loro diametro; e poi sarebbe malagevole governare il fuoco in un fornello troppo largo. In oltre si ottiene maggiore superficie col fornello doppio.

Questa caldaja non ha l'inconveniente notato per quella cilindrica, poichè la parete lambita direttamente dalla fiamma è convessa nell'interno, e quindi non può avvenirvi gran deposizione di sostanze fangose. E ne' camini laterali, per la leggerezza relativa de' gas caldi, il maggior calore si concentra nelle parti più alte, e le porzioni vicine al fondo della caldaja non acquistano mai altissima temperatura; nemmeno con la disposizione della fig. 114, poichè i gas percorrono il camino *c* dopo che hanno di già lasciata una buona parte del lor calore in *a* e in *b*. Ne viene non solamente che il fango deposto al fondo non s'indurisce molto, ma che neppure àvvi temperatura tale da bruciar le lamiere.

Galloway praticò una eccellente aggiunzione alle caldaje di Cornovaglia : nella parte posteriore del tubo a fornello, dietro la graticola, pose un certo numero di tubi conici, come vedesi nella fig. 115, in cui A rappresenta lo spaccato longitudinale irregolare della parte di dietro della caldaja, e B lo spaccato trasversale della stessa; questi tubi aumentano notevolmente la superficie senza accrescere la mole della caldaja, e in oltre sono in condizione buonissima per ricevere e utilizzare il calore, essendo che la corrente de' gas gl' incontra ad angolo retto, e per la lor forma conica il vapore scappa agevolmente alla superficie e vien surrogato sùbito da nuova acqua dal sotto, sì che si mantiene ne' tubi un'attivissima circolazione. In oltre rinforzano assai il tubo, sostenendolo contro la pressione del vapore; tanto che in queste caldaje troviamo talvolta il tubo di sezione ellittica,

come vedesi nella fig. 116, e sorretto nelle parti comparativamente piane da' tubi di Galloway.

86. *Caldaje Tubolari.* — Le caldaje descritte, specialmente quella di Cornovaglia, sono adoperate quasi sempre in quelle macchine da terra che non sono trasportabili, e in cui per conseguenza non importa molto il peso, nè il volume occupato dalla caldaja e dal suo fornello e camini. Ma quando il tutto ha da trasportarsi, come nelle locomotive, nelle macchine portatili, ne' piroscafi, importa assaissimo avere una caldaja quanto più possibile leggiera e compatta. Per ciò furono imaginate le caldaje tubolari in cui gran parte della superficie riscaldante consiste in tubi, e che risolvono benissimo il problema della leggerezza e della compattezza; tanto che sarebbero adoperate a preferenza di ogni altra sorta di caldaja qualora non avessero l'inconveniente della difficoltà di pulizzarsi, come mostreremo più innanzi dicendo dell'incrostazione delle caldaje. Ecco perchè le caldaje tubolari riescono più leggiere di quelle costruite interamente di lamine: la spinta elastica che tende a far scoppiare, od a schiacciare, un recipiente cilindrico, cresce col diametro del recipiente medesimo; poichè con un diametro maggiore, la superficie sulla quale opera la pressione è anch'essa maggiore, e quindi la spinta è più forte; cosicchè, a parità di grandezza delle pareti, un cilindro piccolo sosterrebbe tensione più forte di quella a cui potrebbe reggere un cilindro più grande; e appunto perchè in quest'ultimo sarebbe maggiore la spinta del fluido. Ne consèguita che a parità di tensione possiamo dare al cilindro più piccolo una minor grossezza di pareti, pur conservandone eguale la resistenza. È chiaro dunque, che se noi potessimo costruire una caldaja totalmente di piccoli cilindri, di tubi, tale caldaja riuscirebbe più leggiera, con egual resistenza, di quella in cui la medesima superficie fosse costituita da lamine, o da grandi cilindri; poichè in quest'ultimo caso occorrerebbe una spessezza

maggiore. E si avrebbe pure un altro vantaggio: i tubi si potrebbero collocare in uno spazio ben più piccolo di quello occupato dalla egual superficie di lamiere; e quindi si avrebbe una caldaja assai compatta, cioè una grande superficie riscaldante in piccolo volume. Nelle caldaje tubolari attualmente in uso, si ottengono in parte questi vantaggi, poichè una gran porzione della superficie consiste in tubi; ma sono racchiusi in un involucro cilindrico o prismatico, il quale dev'esser necessariamente di lamiere e perciò più spesso assai. Sono state proposte varie volte, e varie volte messe a prova, le caldaje costruite del tutto di tubi, senza punto involucro di lamiera o altro; ma fin oggi sembra non si sieno potute vincere le difficoltà costruttive, e quelle provenienti dall'incrostazione; per altro sotto ogni riguardo queste caldaje sarebbero le migliori, e con gli altri vantaggi avrebbero quello di essere praticamente inesplodibili, poichè l'esplosione, ove avvenisse, sarebbe limitata a' più deboli de' tubi, che farebbero da valvola di sicurezza agli altri lasciando scappare il fluido compresso, senza produrre gravi danni. Tuttavia, come dicemmo, nell'uso non si hanno di simili caldaje, epperò passiamo a descrivere quelle ordinarie, parzialmente tubolari.

87. *Caldaja Tubolare Orizzontale.* — La fig. 117 porge la disposizione generale di una caldaja adoperata nelle locomotive e nelle macchine portatili, come pure qualche volta ne' piccoli piroscafi, come barcacce ecc. In A abbiamo uno spaccato longitudinale, in B lo spaccato trasversale nella parte del fornello. Il corpo *ab* della caldaja è cilindrico, e si unisce alla cassa *cdef,* rettangolare con volta semicilindrica, come si vede in B; dentro di questa cassa è il fornello *gh,* anch'egli rettangolare, e che imperniato al basso con l'involucro esterno, lascia tutt'intorno fra le due casse un certo spazio il quale comunica col corpo cilindrico della caldaja. L'altra estremità dell'involucro è chiusa dalla lastra *il;* e fra la pa-

rete *mn* del fornello e questa lastra, sono collocati i tubi *op*, ecc.; l'interno di essi comunica col fornello da un lato e con la cassa posta all'estremità del corpo cilindrico all'altro, e l'esterno è bagnato dall'acqua della caldaja. Sulla cassa *i l* è fissata la canna fumaria o fumajuolo *q*, consistente in un tubo più o men lungo di lamiera di ferro. Nella doppia parete anteriore del fornello è praticata una porta *r*, chiusa da apposito sportello, e serve per l'introduzione del combustibile. I prodotti della combustione, spinti dall'aria che penetra fra le fessure della graticola, percorrono i tubi nell'andare alla canna fumaria, e cedono il lor calore all'acqua.

La pressione tende a difformare le pareti piane (§ 82) del fornello e del suo involucro; se non che esse sono legate insieme, *cucite*, mediante molti brevi tiranti, come *s*, *t*, ecc., ribaditi in ambo le lamiere; la volta del fornello, non avendo dirimpetto una parete corrispondente, è rinforzata da grosse spranghe di ferro, come *u*, alle quali è fortemente legata la lamina a mezzo di pernj. In *v* si vede il becco pel quale sfugge il vapore scaricato dal cilindro, e che aumenta l'aspirazione della canna, come si disse nel § 81. Essendo l'interno de' tubi percorso da' prodotti del fuoco, ed essendo che raramente si compie del tutto la combustione dentro del fornello, accade che la superficie interna de' tubi si cuopre di uno strato di filiggine, uno de' corpi più cattivi conduttori che si conoscano; la conseguenza ne è che il calore incontra difficoltà a penetrare nel metallo, e i gas rimangono caldi più del dovere, e per conseguenza la caldaja diviene meno efficace. Perciò è importantissimo avere i mezzi di pulire i tubi internamente; e infatti troviamo sempre, in queste caldaje, uno sportello nella parete posteriore della cassa *li*, aprendo il quale rimangono esposte le bocche de' tubi, sì che vi si può introdurre una spazzola di fili metallici, attaccata ad una lunga asta, e si possono spazzare i tubi in tutta la loro lunghezza; e

bruciando carbon fossile quest'operazione vuol esser fatta spesso, possibilmente tutti i giorni, poichè in caso diverso si sciupa gran quantità di calore.

88. *Caldaja Tubolare verticale.*—Come si vede nella fig. 118 questa caldaja è cilindrica dappertutto, ed anche il fornello ha la forma medesima. I tubi rimangono in parte fuori dell'acqua, e quindi soprariscaldano il vapore, la qual cosa riesce utile quando non trascorra in eccesso; è necessario intanto che il vapore si prenda dalla parte più alta della caldaja, poichè in caso diverso avviene un accumulamento di vapore soprariscaldato, che potrebbe acquistare altissima temperatura e guastare la caldaja, essendo che tale vapore caldissimo è altamente corrosivo. Per pulizzare i tubi dalla filiggine sono praticati varj sportelli, come *a*, *b*, intorno alla canna fumaria. Questa caldaja, come pure quella tubolare orizzontale, non è da adoperarsi per le acque fangose, poichè la volta del fornello potrebbe coprirsi di materie deposte e bruciarsi, come si disse per le caldaje cilindriche (§ 84).

Siccome nelle caldaje tubolari i tubi si consumano più presto delle altre parti della caldaja, principalmente per effetto della incrostazione, conviene che sieno amovibili, in guisa da potersi cangiare: le lastre ove vengono incastrati tali tubi sono più spesse delle altre (da 15 a 20 millimetri), e i fori rispondono esattamente all'esterno de' tubi; messi questi a posto s'introduce nella bocca di ciascun tubo un anello un po' conico di fuori, come si vede nella fig. 119, e cacciandolo forte si ottiene l'espansione della bocca del tubo e il suo combaciamento con le pareti dell'orifizio. Volendo rimuovere il tubo si tagliano gli anelli e lo si caccia fuori.

Essendo che i tubi, per essere in contatto diretto coi gas caldi, acquistano una temperatura più alta di quella generale della caldaja, in singolar modo quando s'incrostano, si dovrebbe lasciar libera una estremità, affinchè

il tubo possa dilatarsi alquanto senza spinger fuora le lastre. Alcuni costruttori torniscono i tubi ad una estremità e rendono pure di forma esatta i fori, sicchè basta allargare alquanto la bocca del tubo mediante una spina (1), ad ottenere una buona giuntura, la quale nel tempo medesimo non impedisce la dilatazione del tubo. Ma tale ripiego è costoso assai, e il più delle volte i tubi sono fermati a dirittura, ribaditi per fino, ad ambe le estremità; quale costruzione viziosa è causa di molto stento al macchinista che deve mantenere la caldaja in buono stato.

89. *Caldaja di Field.*—Negli esempj che abbiam dato di caldaje tubolari, i tubi sono percorsi da' gas caldi ed immersi nell'acqua; si è tentato varie volte di adoperare una combinazione inversa, cioè di esporre a' gas l'esterno de' tubi e porre l'acqua dentro i tubi medesimi. Sembra che la difficoltà principale sia stata il mantenere ben pieni i tubi, poichè il vapore svolto ne cacciava l'acqua. L'americano Field introdusse pochi anni sono una caldaja di questo genere, nella quale è tolto l'inconveniente; tanto che essa è molto adoperata. La fig. 120 ci rappresenta la sua disposizione generale : — Il fornello cilindrico si eleva notevolmente dentro la caldaja, e la canna fumaria s'innesta sulla sua volta; nello spazio anulare fra la canna e le pareti del fornello sono incastrati numerosi tubi, che si aprono nel sopra all'acqua della caldaja, e sotto son chiusi e pènsili dentro il fornello. Ad impedire che i prodotti della combustione passino sùbito alla canna fumaria, nello spazio vuoto che rimane nel mezzo de' tubi è posto un cilindro *a* di creta refrattaria, mantenuto mediante un perno dall'alto; sicchè i gas sono costretti a penetrare in mezzo de' tubi verso le pareti, per poi ritornare al centro nella parte supe-

(1) La *spina* è un tronco di cono, fatto di acciaro, tornito di forma esatta, ed opera siccome un conio tutt'intorno.

riore del fornello. Se i tubi non fossero muniti di un qualche ingegno speciale, il vapore svolto nel fondo e nelle pareti basse caccerebbe l'acqua fuori, e il tubo rimarrebbe inefficace, almeno temporaneamente; e l'operazione sarebbe assai irregolare, potendosi pure bruciare i tubi o guastarsi per i cangiamenti repentini di temperatura, in singolar modo se fossero molto lunghi. L'artifizio di Field sta appunto nel rimediare a questo: dentro di ciascun tubo pènsile ne è introdotto un secondo, aperto ad ambe le estremità, che non giunge fino al fondo del tubo esterno, e che superiormente è munito di una bocca ad imbuto, come si vede nella fig. 121 in cui è disegnato uno de' tubi più in grande. Per effetto del calore operante sulla parete esterna del tubo, l'acqua contenuta nell'interstizio fra il tubo di fuori e quello di dentro, si riscalda, diviene quindi più lieve e se ne sale, spinta da quella men calda e più grave contenuta nel tubo interno; si stabilisce così una circolazione nel verso indicato dalle frecce; la quale diventa poi rapidissima quando incomincia l'ebollizione, poichè allora la sezione anulare si riempie di acqua mista a bolle di vapore, e quindi leggerissima, mentre l'acqua nel tubo interno, non essendo esposta a riscaldamento diretto, è priva di vapore e quindi relativamente assai pesante. E questa circolazione fa sì che le superficie esposte alla fiamma vengon spazzate da acqua ognora rinnovantesi, e perciò benissimo adatta a pigliarsi il calore; molto più che scende ne' tubi a preferenza l'acqua più fredda, perch'è insieme più pesante. Dicesi che la corrente rapidissima impedisce l'incrostazione de' tubi e li mantiene perfettamente puliti: noi ritorneremo sopra questo argomento dicendo della incrostazione. È evidente dover essere efficacissima questa caldaja, quando si considera che l'acqua vien mandata continuamente, e in sottili strati, alla parte più calda del fornello, e continuamente mandata alla superficie per scaricarsi del vapore e della temperatura che ha potuto acquistare.

Sembra che negl' intervalli in cui si spegne il fuoco, la sera per esempio, potrebbe avvenire un accumulamento di fango nel fondo de' tubi, e che perciò questi potrebbero bruciarsi quando vi opera nuovamente la fiamma. Tuttavia l'esperienza dimostra che la rapidissima circolazione impedisce la presenza di molto fango nel sopra della caldaja, e per conseguenza non avviene deposizione notevole dentro de' tubi; invece, la maggior parte delle sostanze terrose va a deporsi nello spazio anulare sotto il livello della graticola, ove la temperatura si mantiene piuttosto bassa.

Digitized by Google

LEZIONE XIX.

90. Caldaje Marine.—91. Caldaja a Gallerie.—92. Caldaje Marine Tubolari.— 93. Costruzione delle Caldaje.

90. *Caldaje Marine.*—In queste caldaje sarebbero affatto inammissibili i fornelli esterni di fabbrica, tanto per il peso quanto per la difficoltà di far reggere un edifizio murato a bordo una nave; epperò i fornelli e le superficie riscaldanti devono essere contenuti nel corpo stesso della caldaja. È necessario bensì che tutte le pareti esposte alla fiamma sieno dall' altro lato immerse nell'acqua, ad impedire che il loro eccessivo scaldamento non metta in pericolo d'incendiarsi la provvista di carbone, o altro del carico del piroscafo; e son pure indispensabili a questo fine medesimo certe precauzioni per quelle pareti a cui giungono i gas anche comparativamente spogliati di calore, come la base della canna fumaria, ecc. È chiaro essere la leggerezza condizione importantissima in queste caldaje, come pure la compattezza, e la forma esterna facilmente adattabile a quella della nave.

Questi requisiti sono posseduti in grado più eminente dalle caldaje tubolari, e infatti queste si prescelgono quasi sempre; se non che trovandosi in qualche piroscafo di

antica costruzione le caldaje *a laberinto* o *a gallerie*, daremo in prima un cenno di queste.

91. *Caldaja a Gallerie.* — Nella cassa rettangolare *abcd*, fig. 122, di lamiere di ferro, che forma l'involucro della caldaja, son situati i quattro fornelli *e, f, g, h;* e nella parte anteriore di questi son disposte le graticole, come si vede in alzato in A, e in pianta in B; il muricciuolo *i* di mattoni refrattarj serve di argine al combustibile ed impedisce che questo cada dentro i camini. Le bocche de' fornelli son chiuse da piastre di ghisa munite di sportello per l'introduzione del carbone sulla graticola; la parte inferiore, che costituisce il cinerario, talvolta è munita anch'essa di sportello per regolare l'aspirazione, ma più spesso è lasciata aperta, e si adopera invece una valvola nella canna fumaria (§ 81). I due fornelli *g, h,* comunicano, come si vede nella parte sezionata della pianta B, col camino *l,* il quale girando in varie guise va finalmente a sboccare alla base della canna fumaria *m.* L'altra metà della caldaja è simile affatto a quella che vedesi sezionata, e la canna fumaria è comune alle due metà. In A vedesi la sezione *p* de' camini, i quali sono interamente coperti di acqua, come pure i fornelli; i gas caldissimi del fuoco vengono posti in contatto così con un'estesa superficie di lamiere, coperte, dall'altra parte, di acqua. La canna fumaria, in quella parte che rimane sotto la tolda, è inviluppata da un fodero, il quale per la corrente d'aria che si mantiene pel calore fra esso e la canna, impedisce che questa si riscaldi tropp'oltre. Il vapore svolto si raccoglie nella cassa *n,* d'onde poi passa alla macchina.

Le superficie riscaldanti di queste caldaje sono poco efficaci, poiché constano in massima parte di pareti verticali su cui strisciano i gas senza venirvi in intimo contatto, per non essere rotte le correnti; il suolo dei camini è di pochissimo valore per la ragione che si cuo-

pre ben presto di cenere dal fuoco, la quale impedisce quasi del tutto il passaggio del calore; e inoltre per la leggerezza de' gas caldi la maggior temperatura trovasi sempre nell'alto del camino.

Ancorchè in questo genere di caldaje la tensione del vapore non sorpassa mai quella atmosferica di più di 50 o 60 millimetri di mercurio, pure è necessario sostenere le lamiere a mezzo di tiranti disposti in modo da bilanciare la pressione sulle pareti opposte. Ed essendo le superficie quasi tutte piane, bisogna adoperare lamiere alquanto grosse (ordinariamente circa 10 millimetri), sì che la caldaja riesce pesantissima. In oltre è voluminosa assai, poichè i camini dànno poca superficie rispetto alla mole, anche quando se ne praticano due serie, l'una sopra dell'altra, come si osserva in taluni vecchi piroscafi. Per tali ragioni questa caldaja è, come si disse, abbandonata al giorno d'oggi.

92. *Caldaje Marine Tubolari.* — Dicemmo già (§ 86) quali sono i vantaggi delle caldaje tubolari, cioè la leggerezza e la maggiore compattezza; vantaggi pregevolissimi, com'è chiaro, per una caldaja da piroscafo. Le forme di queste caldaje sono diverse quasi direi per ogni caso speciale; tuttavia il loro tipo è abbastanza uniforme, e la fig. 123 ce ne può fornire un'idea sufficientemente chiara: la caldaja disegnata consiste in due metà riunite e che hanno comune il fumajuolo; ciascuna metà contiene, come vedesi, tre fornelli; e il numero di questi varia con le dimensioni della caldaja, poichè riesce più agevole governare il fuoco sopra una graticola di una data larghezza anzichè sopra una più stretta ovvero più larga, e quindi invece di cangiare molto la grandezza si cangia il numero de' fornelli secondo la forza voluta. Tutti e sei i fornelli sboccano nella cassa *ab* nel dietro della caldaja, e tale cassa è circondata di acqua da tutte le parti eccetto il fondo; delle volte anche questo è fatto

a doppia parete e forma parte dello spazio per l'acqua, ma più spesso è aperto, come nella nostra figura. Nel davanti àvvi una seconda cassa *cd* rispondente alla prima, se non che la sua parete anteriore è formata dagli sportelli che vedonsi di prospetto in *n, o, p;* e dalla sua bocca di sopra s'innalza la gola della canna fumaria, *de;* è difficile formarsi un' idea della forma di questa gola senza vederla in fatto: essa nell'incominciamento è rettangolare, come la cassa; poi salendo si restringe in larghezza, come vedesi in A, ed aumenta in profondità, come si vede in B; e nel tempo medesimo va assumendo sezione circolare, tanto che in *e,* dove viene ad innestarvisi il fumajuolo, è cilindrica; da ogni parte è immersa nello spazio della caldaja. Fra le pareti di contro delle due casse son situati i tubi *h i, l m,* ecc., che formano una comunicazione fra le casse medesime, e quindi tra i fornelli e la canna fumaria. L'aria esterna penetra per le bocche de' cinerarj, passa le fessure delle graticole, s'introduce nella cassa *a b*, ed indi percorrendo i tubi fluisce alla cassa *c d* ed alla canna fumaria. I fianchi e le volte de' fornelli, la cassa *ab,* i tubi, quattro lati della cassa *cd,* e porzione della gola, sono immersi nell'acqua e formano quindi le superficie riscaldanti. La gola della canna fumaria è immersa in massima parte nel vapore, e siccome i gas che vi s' innalzano hanno ancora una temperatura assai più alta di quella del vapore, questo ne viene più o meno soprariscaldato; circostanza vantaggiosa quand'è mantenuta ne' giusti limiti, tanto che in molte caldaje moderne si adoperano congegni speciali per aumentare la superficie esposta a' gas da un lato ed al vapore dall'altro; li dicono *soprariscaldatori* e noi li descriveremo dicendo degli accessorj delle caldaje (§ 95).

La parete anteriore della cassa *cd* (la chiamano *cassa del fumo,* e *cassa della fiamma* l'altra *ab*) è formata, come dicemmo, di sportelli *n, o,* ecc. a fine di poter pu-

lizzare l'interno de' tubi dalla filiggine che vi si accumola; tirando su questi sportelli, come mostra la linea punteggiata *t*, rimangono libere le bocche de' tubi; e nei viaggi lunghi si spazzano i tubi anche mentre la caldaja è in opera: infatti se si apre un solo sportello alla volta, l'aspirazione del fumajuolo impedisce l' uscita di grandi quantità di fumo, o almeno limita l'esito de' gas tanto da permettere lo spazzamento. Accade pure talvolta che qualcuno de' tubi si consumi per l'incrostazione, sì che lascia scappar l'acqua: in tal caso, avendo aperto lo sportello, si possono tappare le bocche del tubo fiaccato mediante tappi di legno tenero, cacciati dal davanti, e che isolano il tubo da' camini e impediscono perciò la perdita di acqua.

Le superficie che generano il vapore si cuoprono ben presto di un'incrostazione cristallina durissima (come si vedrà meglio più innanzi), ed essendo tale gruma cattiva conduttrice del calore, le pareti acquistano una temperatura eccessivamente elevata, e i gas scappano via più caldi del dovere, oltre di che le lamiere e i tubi a lungo andare si bruciano. È necessario per conseguenza che questa gruma sia tolta via prima che prenda una grossezza notevole; e a tale scopo l'involucro della caldaja è forato di varie aperture, chiuse, quando la caldaja è in opera, da appositi sportelli, come *q*, *r*, ecc.; ed in oltre nella volta è praticato uno sportello più grande per il quale possa introdursi un uomo dentro la caldaja. Per facilitare l'esatto combaciamento di questi sportelli, essi vengono posti dal di dentro, come vedesi in *u*, fig. 123, sì che la pressione medesima li spinge a chiudere sempre meglio; e mentre non c'è pressione son tenuti a posto mediante pernj a vite sorretti da ponti, come si vede in *u*, in *q*, in *r*, ecc.

Come nella caldaja a gallerie, le pareti piane vogliono essere legate insieme da tiranti; e per impedire la dif-

formazione delle piastre in cui sono incastrati i tubi, alcuni di questi sono muniti di chiocciole alle due estremità, in guisa da operare siccome tiranti. La presenza di tiranti così numerosi in queste caldaje, rende estremamente difficile il poterle pulizzare: s'immagini infatti tutto lo spazio passato da spranghe di ferro verticali ed orizzontali alla distanza di circa 40 centimetri, sì che tutta la caldaja venga divisa in cellule cubiche di 40 centimetri di lato, e si comprenderà in qualche maniera come ne sono inceppati i movimenti di chi deve avventurarsi in tale folto bosco di tiranti.

Quantunque i tubi sieno disposti in grpppi, con ispazj liberi nel mezzo, è quasi impossibile mantenerli netti d'incrostamento; in certo modo ci si perviene quando son situati in linea, l'un sotto dell'altro, sì che si possa introdurre uno scalpello verticalmente fra le varie file; tuttavia non di rado, in singolar modo ne' piroscafi francesi, troviamo i tubi situati come si vede in C, fig. 123, la qual disposizione rende difficilissimo qualunque tentativo di pulizzamento. D'altra parte così si può mettere maggior numero di tubi in un dato spazio, ma la superficie più grande vien presto resa inutile, o quasi inutile, appunto per l'incrostazione; di modo che il vantaggio si limita al breve tempo in cui le superficie non si sono ancora incrostate. In ogni modo, come si disse, i tubi nel mezzo de' gruppi non si possono scrostare a dovere, e spesso bisogna rinnovarli solo perchè si son resi quasi inutili per la gruma. La maniera di fissarli nelle lastre è quella medesima che descrivemmo dicendo delle caldaje da terra (§ 88). I tubi sono per lo più di ferro; qualche volta li troviamo di ottone.

In alcuni casi si è data forma cilindrica all'involucro di queste caldaje, a fine di evitare la necessità di tiranti così numerosi; ma nell' uso generale s' incontrano più spesso le forme rettangolari, come quelle che pigliano mi-

nore spazio nel piroscafo. Per le pressioni alquanto forti è indispensabile per altro adoperare i condensatori a superficie, di modo che la caldaja sia fornita di acqua distillata, poichè la quantità di gruma aumenta con la pressione, e la presenza de' tiranti costituisce un forte ostacolo al rinettamento delle superficie, e toglierli sarebbe inconveniente, come regola. Ma essendo che la condensazione a superficie evita quasi affatto l'incrostamento, diventa di minore importanza il diminuire il numero dei tiranti, e possono perciò servire benissimo le caldaje di forma consueta, anche per le tensioni piuttosto elevate.

93. *Costruzione delle Caldaje.*— Tanto le caldaje da terra quanto le marine si costruiscono quasi sempre di lamine di ferro connesse a mezzo di chiodi ribaditi, talvolta per la soprapposizione delle lamiere medesime, tal'altra mediante strisce di ferro, sia piane, sia angolari per costruire gli spigoli. La fig. 124 mostra una unione per sovrapposizione delle lamiere: nei fori corrispondenti delle due lamine s'introducono i chiodi roventi, lunghi tanto da sporgere fuori dal lato opposto, sì che ribadendoli possa venirne una capocchia sufficiente; e si ribadiscono mentre sono ancora roventi, e mano mano che si van raffreddando si accorciano così da tirare fortissimamente insieme i due lembi della lamiera; e ne viene una unione saldissima. Nella fig. 125 ho disegnato in prospettiva una unione a spigolo formata mediante un ferro angolare. Spesso invece di adoperare quest'ultimo si può piegare ad angolo una delle lamiere, ed è miglior partito, poichè il ferro angolare dà una certa rigidezza allo spigolo, che sforza le altre parti in certi casi, come si vedrà meglio quando diremo della conservazione delle caldaje. Le unioni piane si posson praticare pure, come si disse, sovrapponendo una striscia sulle lamiere combaciantisi agli orli, e posti in unico piano, come si vede in *a*, fig. 125. A

Digitized by Google

rendere perfettamente stagne queste unioni, qualora sieno ben fatte, basta andare ammaccando gli orli, come *a* e *b*, fig. 124, con un cesello, in guisa da chiudere quelle piccolissime fessure dipendenti da imperfezioni delle superficie; e col ferro si ha questo vantaggio pregevolissimo: la ruggine formata per la combinazione del metallo con l'ossigeno, sia dell'aria, sia dell'acqua, ha volume assai più grande del ferro che lo produsse; sì che quando le unioni gemono, l'acqua che vi passa arrugginisce le superficie, e vengono così ricolmate le piccole fessure; infatti nelle caldaje che si riempiscono di acqua per la prima volta, spesso si osservano lagrimare le commessure, e poi ristagnarsi da sè dopo breve tempo anche senza l'uso del cesello. S'intende tuttavia che questa circostanza della ruggine non può nè deve coprire i difetti della costruzione: e fanno certamente male quei costruttori che ne abusano spalmando le giunture di una soluzione di sale ammoniaco, a fine di promuovere più abbondante ossidamento.

Son questi gli artifizj semplicissimi che si adoperano nella costruzione delle caldaje. Vediamone adesso l'applicazione in una caldaja di Cornovaglia: — Fig. 126; le lamine di ferro che si fabbricano per la costruzione in discorso hanno varie dimensioni, ma per lo più sono in forma di rettangoli, lunghi vogliamo dire un pajo di metri, e larghi un metro o poco più; sia 1,m20 il diametro che vogliamo dare alla caldaja, e 4,m70 la lunghezza; a formare la circonferenza ci vorranno due lamiere, come si vede in A, unite in *a* e in *b;* e ogni cilindro di questi sarà lungo circa un metro, sì che ce ne vorranno 5 per la lunghezza della caldaja, essendo che le sovrapposte ne prenderanno una porzione. Per unire longitudinalmente i nostri cinque cilindri, regoliamo in modo i loro diametri che possano imboccare l'un nell'altro, e quindi, o saranno tutti un po' conici, oppure saranno un po' più

grandi e un po' più piccoli alternatamente, come si vede nella figura. Inchiodando le varie costure si ottiene il cilindro esterno. Per quello interno si potrebbe adottare un mezzo simile, se non che nelle grandi fucine preparano certi tubi tutti di un pezzo, e lunghi a un dipresso quanto sono larghe le lamine, e muniti inoltre di labbri sporgenti, a mezzo de' quali si possono facilmente inchiodare insieme, per formarne quella lunghezza che occorre; nella figura se ne vede la disposizione. Questa maniera di costruire il tubo interno è assai vantaggiosa, poichè oltre all'evitare le giunture sporgenti nelle parti calde del fornello, nelle quali sarebbero corrose, si ha una resistenza maggiore, essendo che i labbri formano altrettante costole che rinforzano il tubo tutt'intorno. È buono che l'ultimo tubo, *c*, sia conico; ed ecco perchè: l'intero tubo a fornello per essere direttamente lambito dalla fiamma e da' gas più caldi, si espande più dell'involucro esterno, e però se fosse inchiodato ad ambe le estremità vicino al lembo del disco che forma la parete, le unioni verrebbero sforzate per l'allungarsi del tubo e pel suo restringersi; invece, facendo conica la porzione *c*, si ha una certa flessibilità nella parete posteriore, la quale per conseguenza può incurvarsi alquanto in fuori o in dentro senza che le giunture ne sieno troppo stirate. Tuttavia in pratica non mancano esempj in cui il tubo a fornello è tutto cilindrico. In ogni modo: le pareti estreme si uniscono ad ambo i cilindri, sia a mezzo di ferri ad angolo piegati a cerchio, ed inchiodati da un lato al cilindro e dall'altro alla parete, sia facendo sporgere un lembo tutt'intorno dalla parete medesima, come si vede nella nostra figura; ed è migliore quest' ultima maniera, imperocchè evita la rigidezza dell' unione col ferro angolare. Quando è notevole la distanza *de*, si rinforza questa parte della parete mediante un pezzo di lamiera *f* inchiodato alle due superficie, come si vede.

Questo esempio della costruzione della caldaja di Cornovaglia basta a darci un' idea generale de' mezzi adoperati anche per le altre forme di caldaje, poichè a un dipresso le condizioni sono le stesse; ed abbiamo già mostrato come vengono fermati i tubi nelle caldaje tubolari (pag. 245). Le lamiere sogliono avere la spessezza d'un centimetro circa nelle consuete condizioni; ma nelle caldaje marine moderne, in cui si tende a tensioni di vapore più elevate, troviamo le lamiere qualche volta spesse 15 millimetri per fino. I tubi sono sempre assai più sottili, per lo più fra 3 e 5 millimetri, secondo il diametro più o men grande.

Si è tentato di usare le lamiere e i tubi di acciaro, col fine di ottenere maggiore leggerezza; ma fin ora non sono nell'uso generale.

LEZIONE XX.

94. Valvola di Sicurezza. — 95. Soprariscaldatore. — 96. Valvola d'emissione. — 97. Indicatori del livello. — 98. Tappo fusibile. — 99. Robinetti da schiuma e da estrazione. — 100. Valvola d'alimentazione. — 101. Macchinetta Ausiliare.

94. *Valvola di Sicurezza.* — L'accessorio più importante della caldaja è senza dubbio la valvola di sicurezza (§ 40), poichè questa impedisce al vapore di assumere una tensione maggiore di quella cui può resistere la caldaja. Consiste in un disco che chiude esattamente un orifizio comunicante con la caldaja, ma che chiude per semplice sovrapposizione, ed è mantenuto a posto mediante pesi, ovvero da una molla; sì che appena il vapore acquista forza più grande di quella de' pesi o della molla, e insieme della atmosferica, spinge su il disco e si apre così un adito pel quale scappa fuori; ma diminuita la pressione, e resa appena minore di quella che tiene giù la valvola, questa si abbassa nuovamente e richiude l'orifizio. Cosicchè la valvola di sicurezza si mantiene chiusa affatto mentre la tensione del vapore è qual dovrebbe essere, e si apre più o meno in conseguenza di un aumento di pressione, in guisa da limitare benissimo l'aumento medesimo: e si comprende sùbito di qual immenso valore dev'essere un simile ingegno, tanto che si potrebbe forse affermare non costruir-

si mai caldaja senza valvola di sicurezza; e la dobbiamo a Papin (§ 39, 40).

Il meccanismo semplicissimo della valvola in parola varia di forma con le condizioni della caldaja a cui viene applicato: nelle locomotive e nelle macchine portatili la pressione che mantiene la valvola in posto vien fornita da una molla, alla quale può darsi maggiore o minore tensione secondo i casi. Nelle macchine fisse si adopera più volentieri un peso, operante sulla valvola a mezzo d'una leva. Finalmente nelle macchine marine troviamo più spesso il peso imposto a dirittura sulla valvola stessa. La fig. 127 rappresenta una valvola di sicurezza da caldaja di macchina fissa: nella bocca del corto tubo *ab*, di ghisa, è incastrato un anello di bronzo, dalla superficie interna del quale partono tre o quattro mensole che sostengono la guida cilindrica che vedesi nel mezzo del tubo; la valvola è costituita da un disco un po' convesso, a guisa d'uno scodellino rimboccato, e il suo orlo, levigatissimo e sottile, posa sulla bocca dell'anello, anch'essa benissimo levigata; come si vede, uno stelo sporgente dal sotto della valvola scorre dentro la guida, e la valvola n'è mantenuta in posizione centrale, e nel tempo medesimo ha libertà di sollevarsi. Se la valvola si lasciasse libera così, la pressione del vapore nella caldaja non potrebbe elevarsi al di sopra della atmosferica, o poco più, essendo che una volta attinta tale pressione, il vapore solleverebbe la valvola e scapperebbe via; ecco come si regola il grado di pressione necessario a sollevar la valvola e dar esito al vapore: a un perno affermato nella forchetta *c* si articola una leva, che si prolunga dall'altro lato, e sulla quale può scorrere un contrappeso *d;* mediante una seconda forchetta questa leva spinge giù la valvola, pel peso proprio e per quello del contrappeso; la guida *e* impedisce il moto laterale della leva e ne limita la oscillazione in verso sopra. È chiaro che l'effetto del contrappeso sulla valvola sarà diverso con le sue va-

rie posizioni sulla leva: se dista dal punto di appoggio, *c*, dieci volte più di quanto ne dista la forchetta della valvola, la sua pressione sarà 10 volte più gagliarda della propria gravità, e così via: e però cangiando la distanza del contrappeso si regola la pressione ch' egli fa sulla valvola, e quindi la tensione di vapore necessaria a sollevare la valvola medesima. S'intende tuttavia che la lunghezza della leva e la gravità del contrappeso sono così ragguagliate alla grandezza della valvola, da rendere impossibile che il vapore assuma pressione maggiore della regolare per la caldaja, anche mettendo il peso all'estremità della leva. Talvolta si dà alla valvola la forma di una zona conica, e la si guida mediante ali sporgenti dalla medesima; in una parola, le si dà la forma delle valvole da noi descritte dicendo della tromba alimentatrice § 78, fig. 103; ma sembra assai preferibile l'orlo piano e stretto, poichè la forma conica tende a portare in contatto più intimo le superficie, l'effetto del peso si esagera più o meno per l'inclinazione (§ 64), e quindi è resa più facile l'aderenza della valvola all'anello; quale caso può paralizzare del tutto l'operazione della valvola.

Nelle caldaje marine si adoperano pure talvolta le valvole di sicurezza combinate come quella suddescritta, ma per il moto del piroscafo, il contrappeso all'estremità della leva tende a balzare, sì che la sua pressione non riesce costante; e perciò si preferisce quasi sempre (almeno per le tensioni consuete finora), imporre il peso direttamente sulla valvola medesima, facendolo eguale senz'altro alla spinta del vapore della voluta tensione. Ecco il congegnamento generale di queste valvole: — Fig. 128; nella cassa cilindrica *a b*, fermata sulla volta della caldaja, è incastrato l'anello *cd*, di bronzo, sul cui labbro superiore, fatto perfettamente piano e levigato, posa l'orlo della valvola; di un pezzo coll'anello è formata la guida *e*, unita all'anello mediante tre o più ali; in essa è praticato un foro in cui scorre l'asta della valvola, che

ne è mantenuta perciò sempre concentrica con l'anello. L'asta è prolungata verso l'alto, ed esce fuori per una scatola a trecce, *f*, nel coperchio della cassa; sull'asta sono infilati varj dischi di ghisa o di piombo *g*, *h*, *i*, ecc., che costituiscono il carico della valvola; e lo si può aumentare o diminuire col numero de' dischi. Nella parte superiore della cassa è fatto il tubo *l*, per lasciar effluire il vapore proveniente dalla caldaja allorquando si solleva la valvola; questo vapore scappa pel tubo *m* che sale accanto alla canna fumaria, ed è aperto all'atmosfera alla estremità di sopra. Serve a condurre via il vapore effluente, che sarebbe d'ingombro in prossimità della tolda. È necessario alle volte lasciar scappare il vapore dalla caldaja, e per far questo bisogna sollevar la valvola di sicurezza onde rimanga libero il passaggio al vapore; tale sollevamento viene operato come segue: nell'asta della valvola, in *o*, è praticata una fenditura nella quale penetra l'estremità rotondata della leva *opq*, volubile sul perno *p*, appoggiato, come vedesi, ad una colonna sorretta dalla cassa; all'estremità *q* è articolata l'asta *rs*, che scende lungo la faccia della caldaja sino a fianco dei fornelli; lì termina in una staffa *s* a cui si articola una vite *st*, impegnata in una chiocciola *u* fissa alla caldaja. Girando la vite mediante la manovella *t*, essa scende o sale secondo la direzione in cui si volge, e trae seco la estremità *q* della leva, facendo muovere nel tempo medesimo in verso contrario l'altra estremità *o*. La fenditura nell'asta è prolungata in giù, e per conseguenza il movimento della leva in questo verso non ha effetto veruno sulla valvola: ma se vien girata la manovella *t* in guisa da far scendere la vite, allora verrà tratta in giù l'estremità *q*, e sollevata l'altra, portando seco l'asta e la valvola, e dando adito così al vapore. In virtù del prolungamento in basso della fessura in *o*, il meccanismo da innalzar la valvola non toglie che essa possa sollevarsi per la spinta del vapore, e la vite *st* deve esser situata

in modo da rendere impossibile che la leva freni la valvola; poichè, frenata, la valvola si renderebbe inetta al suo ufficio.

95. *Soprariscaldatore.*—Per aumentare l'effetto disseccativo di quella parte della canna fumaria ch'è immersa nel vapore della caldaja, si adoperano sovente ingegni speciali, detti *soprariscaldatori,* poichè servono appunto per dare al vapore una temperatura più alta di quella che corrisponde alla sua tensione, e renderlo così capace di subire un certo raffreddamento senza venirne sùbito condensato. Consistono in tubi di ferro, di rame, o di ottone, posti attraverso la base del fumajuolo, e che vengono per conseguenza riscaldati da' gas effluenti da' camini della caldaja; il vapore si fa passare dentro di questi tubi nel passare dalla caldaja alla macchina e vi si soprariscalda. A fine di moderare l'effetto, i tubi sono muniti di valvole alle bocche, e si può fare perciò che il vapore passi, o per tutti i tubi, o solo per una porzione, secondo si vuole il vapore più o meno soprariscaldato. La temperatura del vapore viene indicata da un termometro, e mediante le valvole sudette essa si deve mantenere ne' limiti stabiliti, poichè un eccessivo riscaldamento rovina la macchina, facendo stropicciare asciutte e corrodendo la superficie delle valvole e del cilindro, e bruciando l'unguento di che sono spalmate.

E sembra questo un grave inconveniente del sistema; e molto più quando l'indicazione è affidata a piccoli termometri a mercurio, che assai bene si osservano nelle esperienze da gabinetto, ma riescono troppo delicati abbordo i piroscafi e nelle rozze mani de' macchinisti. Ad evitare guasti, e a render più agevole e sicuro l'uso dei soprariscaldatori, si avrebbe a congegnare un qualche pirometro bene esatto che dasse indicazioni visibilissime, per esempio come quelle date dalla lancetta del manometro Bourdon; affinchè fossero palesi a colpo d'occhio, e senza necessità di un'osservazione di proposito, che veramente non

si può pretendere troppo sovente nella navigazione effettiva.

L'esperienza ci dice non esser prudente spingere il soprariscaldamento oltre a' 30° circa; ma pure con questo eccesso di temperatura si ottiene notevole economia di combustibile; spesse volte fino al 20 par cento.

Sappiamo che le soluzioni saline bollono a temperature più elevate del punto d'ebollizione dell'acqua pura sotto simili circostanze; intanto, come dicemmo trattando delle leggi del vapore (§ 25), la temperatura del fluido prodotto è sempre come se l'acqua fosse pura. Nelle caldaje marine, per conseguenza, l'acqua è più calda del vapore che produce, e sarebbe assai naturale supporre che avvenisse una comunicazione di calore dall'acqua al fluido svolto, e che questo ne fosse perciò soprariscaldato; ma le esperienze delicatissime di Regnault hanno provato il contrario: il vapore sale attraverso una grande massa di acqua e ne esce senza esserne punto riscaldato, offrendo così una notevole eccezione alle leggi del comunicarsi del calore fra corpi di diversa temperatura. Nessuna spiegazione soddisfacente è stata finora proposta di tale singolare fenomeno (§ 25).

96. *Valvola d'Emissione.* — In una parete della caldaja viene fissata la valvola che serve ad aprire o chiudere la comunicazione con la macchina. La forma di essa valvola, che chiameremo *di emissione*, è a un dipresso simile a quella della valvola di sicurezza. Sulla porzione *b* dell'asta *bd*, fig. 129, è formata una vite che s'impegna nella chiocciola *e;* dimodochè volgendo l'asta in un verso o nell'altro, mediante la manovella *d*, si ottiene che la valvola si allontana dall'orlo dell'anello, o vi si avvicina; la qual cosa apre o chiude il meato al vapore. La valvola, invece di essere fatta di un pezzo con l'asta *bd*, ne è staccata, per impedire che lo storcimento di quest'asta pel calore o altro, tolga che la valvola combaci perfettamente con l'anello; così l'asta lascia libera

la valvola di muoversi alquanto lateralmente, entro i limiti della guida in *f*. Il vapore, penetrato nella cassa, va poi alla macchina pel tubo *b e f*, nel fianco della cassa medesima. Alle volte la valvola d'emissione viene posta direttamente sulla parete superiore della caldaja; ma allora corrisponde sopra la coperta del bastimento; è più conveniente situarla sotto, ed annetterle un tubo che sale fino al sopra della caldaja, come vedesi in *g*. È assai importante che la valvola prenda il vapore dalla parte più elevata della caldaja, poichè per l'azione riscaldante della gola della canna fumaria, il vapore contenuto nel cielo della caldaja si riscalda eccessivamente quando non sia rinnovato da una corrente, e corrode perciò le lamiere che formano quella parte della caldaja. Per far sì che non sia perduta l'azione soprariscaldante nel passaggio del vapore pel tubo *g*, è buono coprirlo di materie che conducono male il calore.

Nelle caldaje marine, come si vede nelle nostre figure, s'innalza una cassa sulla volta, a fine di contenere una certa provvista di vapore e rendere meno sensibili le piccole differenze di pressione, come pure per frapporre una maggior distanza tra il livello dell'acqua e l'orifizio d'emissione del vapore, e rendere così più difficile il passaggio di acqua alle macchine. E anche nelle caldaje delle macchine da terra si adoperano talvolta di simili recipienti pel vapore; se non che la loro utilità per queste può mettersi in dubbio, potendo essere sufficiente lo spazio fra l'acqua e la volta stessa della caldaja; e ad impedire il sollevamento, che talora accade, dell'acqua bollente in verso il tubo d'emissione, val meglio far correre per tutta la lunghezza dello spazio un tubo bucherellato che prenda il vapore da ogni parte della caldaja, di guisa che non si possan formare forti correnti in verso un dato punto.

97. *Indicatori di Livello.*— Abbiamo veduto come sia di grande importanza che le lamiere e i tubi lambiti dalla

fiamma o da' gas caldissimi sieno sempre coperte di acqua, per impedire che si arroventino o che si brucino; vedemmo pure, dicendo della tromba alimentatrice (§ 78), essere impossibile mandare alla caldaja precisamente quella quantità di acqua che occorre a compensare la perdita per la vaporizzazione. E perciò è necessario conoscere il livello dell'acqua dentro la caldaja, a fine di regolare l'alimentazione in modo da mantenere fra i giusti limiti tale livello. Troviamo perciò in pratica varj ingegni atti a mostrare l'altezza dell'acqua, e detti *indicatori;* ecco i più usitati:—Il *tubo di vetro,* fig. 130, consiste in un tubo *ab* di vetro trasparente, posto in comunicazione con la caldaja ad ambe le estremità; esso è situato talmente che il suo centro risponde a un dipresso al livello stabilito per l'acqua dentro la caldaja; essendo eguale la pressione in questa e nel tubo, è chiaro che l'acqua deve prendere il medesimo livello tanto nel tubo quanto nella caldaja; dimodochè le variazioni di livello avverranno pure nel tubo e vi saranno parventi. Le comunicazioni colla caldaja possono essere interrotte dai robinetti *c, d,* in caso della rottura accidentale del tubo. Nelle caldaje da terra i robinetti *c, d,* si uniscono direttamente alla parete, ma in quelle marine è meglio fissarli al tubo di bronzo *ef,* che difende il tubo *ab* da qualche flessione della lamiera, per cui potrebbe essere rotto. Il robinetto *g* serve a far passare una corrente di vapore pel tubo di vetro a fine di pulirlo dalle sostanze estranee che troppo spesso vi si accumulano. Sul tubo di bronzo sono situati altri tre robinetti *h, i, l,* mediante i quali si può giudicare approssimativamente del livello in caso di rottura del vetro; e sono utili pure per accertarsi che il tubo trasparente sia in buono stato: accade delle volte, per ragioni non bene spiegate finora, che esso tubo indichi falsamente, che mostri un livello diverso dal vero; tanto che occorre invigilarlo bene, espurgandolo spesso e facendo controprova coi robinetti delle sue indicazioni.

Per le caldaje da terra si adopera pure, invece del tubo di vetro o insieme con esso, il *galleggiante,* di cui ecco il meccanismo : — Fig. 131; al corpo cilindrico *a,* è attaccata la sottile asta *bc,* che passa per una scatola a trecce nella volta della caldaja, e mediante una catenella è connessa all'arco del piccolo bilanciere *de;* mancando l'acqua nella caldaja scende con essa il galleggiante *a,* e traendo in giù l'asta, fa abbassare l'estremità *d* del bilanciere. Il contrario avviene quando s' innalza il livello; e per conseguenza, dalla posizione del bilanciere si può argomentare l'altezza dell'acqua. Talvolta invece di far galleggiare il corpo *a,* lo si fa anche più pesante dell'acqua, ed allora si equilibra mediante un contrappeso all' estremità *e* del bilanciere. Per evitare le scosse comunicate al galleggiante nella violenta ebollizione dell'acqua, è buono racchiuderlo in una scatola ferma comunicante per stretti fori con l'acqua nella caldaja: allora il livello in questa scatola si mantiene alla medesima altezza media che nella caldaja, ma non vi potrà essere ebollizione perchè non àvvi contatto con le pareti riscaldanti.

Col fine di evitare l'attrito della scatola a trecce nell'ingegno or ora descritto, fu inventato l'*indicatore magnetico :* — L' asta del galleggiante sale dentro di un tubo che comunica colla caldaja, e termina in un pezzetto cubico di ferro, il quale formando parte dell' asta sale e scende insieme col galleggiante e con l'acqua della caldaja; ma il tubo è di ottone, opaco perciò, e quindi non si potrebbero scorgere i movimenti del cubo di ferro; se non che sopra una parete piana del tubo è posto un piccolo cilindretto vuoto di acciaro calamitato; esso è libero di scorrere su e giù, volvendo sulla superficie liscia di ottone, e per l'attrazione tra lui e il ferro sull' asta, si mantiene attaccato alla parete e sempre dirimpetto al cubicino di ferro; sicchè il suo moto indica quello dell'asta; e per conseguenza la posizione di questa, e il li-

vello dell'acqua, puossi argomentare dalla posizione del cilindretto calamitato.

Essendo che l'abbassarsi dell'acqua nella caldaja porterebbe a funeste conseguenze, furono proposti e adoperati varj meccanismi con lo scopo di dare avviso mediante un fischio, o simile artifizio, dell'essersi abbassato tropp'oltre il livello dell'acqua. I migliori sono quelli in cui un galleggiante solleva mano mano un peso piuttosto grande, e nel punto in cui comincia il pericolo lo abbandona a sè, in guisa che vada a percuotere di botto il manico di un robinetto unito al fischio. Così l'attrito del robinetto, quantunque potrebbe benissimo resistere alla spinta quieta del galleggiante, non può impedire che si apra, dovendo per forza cedere all'urto repentino del peso che cade liberamente.

98. *Tappo Fusibile.* — Alcuni costruttori costumano di porre nella caldaja, e precisamente nella volta del fornello, un *tappo fusibile,* cioè un pernio che riempie il foro di un pezzo di bronzo fissato nella lamiera, e ch'è formato di una lega fusibile, la quale, quantunque resista perfettamente alla temperatura regolare della caldaja, si rammollisce e si fonde ad un grado più elevato di calore; sicchè, allorquando, per un caso qualunque, la parete si riscalda a segno di mettere la caldaja a repentaglio, il tappo si fonde, lascia effluire una corrente di vapore, e questa spegne sùbito il fuoco e mette in salvo la lamiera. S'intende che nel lavorare consueto della caldaja alla temperatura giusta, il tappo tiene perfettamente saldo.

99. *Robinetti da Schiuma e da Estrazione.*—Per la qualità glutinosa che ha l'acqua del mare, specialmente allorquando viene concentrata nella caldaja, e per l'effetto delle correnti ascendenti, le materie terrose sparse nell'acqua vengono trascinate alla superficie, e vi formano una schiuma terrosa. È assai utile avere robinetti disposti al livello dell'acqua, che possano, aprendoli di

tempo in tempo, lasciar effluire questa schiuma sotto la pressione del vapore, e così sbarazzarne la caldaja. Talvolta si adoperano recipienti poco profondi, disposti vicino alla superficie dell'acqua, e nei quali va ad accumularsi la schiuma, che poi si scaccia da quelli mediante i robinetti.

100. *Valvola d'Alimentazione.*—Per evitare lo scontro violento di acqua fredda con acqua più calda, l'acqua d'alimentazione viene introdotta nella parte men calda della caldaja; ordinariamente, nelle caldaje marine, ai due fianchi del fornello sotto il livello della graticola. È utile, come dicemmo altrove, poter smontare le valvole della tromba alimentatrice anche mentre è in opera la caldaja; oltre al robinetto interruttore di cui dicemmo nel § 78, si costuma porre una valvola vicino alla caldaja, che apre nel verso medesimo di quelle della tromba, e per regolare la quantità di acqua, si aggiunge talvolta una vite *a*, fig. 132, mossa da una manovella; e allora questa valvola può fare le veci del robinetto interruttore, quantunque sia men sicura. S'intende che adoperandola è necessario sempre che vi sia una valvola di sicurezza sulla tromba, per lasciare uno sfogo all'acqua allorquando non può passare tutta alla caldaja.

101. *Macchinetta Ausiliare.*—Avviene spesso nei piroscafi, che devesi mantenere in opera la caldaja qualche tempo prima che si metta in movimento la macchina; come pure, in ogni interruzione del cammino non conviene spegnere i fuochi: bisogna dunque che la caldaja possa operare regolarmente anche senza che sia in moto la macchina. È chiaro esser necessario in questi casi un mezzo di alimentazione indipendente dalla macchina: l'injettatore Giffard sarebbe adattatissimo a questo scopo, ma il fatto che si adopera poco in pratica fa credere che esso sia troppo delicato. Quasi universalmente sui piroscafi si adopera una piccola macchina a vapore ausiliare, connessa direttamente ad una tromba che può

servire per l'alimentazione. Questa macchinetta è combinata in modo da occupare poco spazio, poichè a bordo de' piroscafi lo spazio è assai prezioso; la fig. 133 mostra una delle disposizioni più consuete: all' asta dello stantuffo è attaccato il telajo rettangolare *abcd*, in cui scorre il bronzo *e*, aggiustato sulla manovella a gomito *fg*. Il moto dello stantuffo e del telajo imprime un movimento di rotazione all'albero, facendo scorrere su e giù nel telajo il pezzo *e*; il volante *h* serve a vincere i punti morti; all'altro lato del telajo è legato lo stantuffo spostatore *i* della tromba, costruita generalmente come quelle alimentatrici ordinarie. La manovella serve solamente a limitare la gita degli stantuffi, e per ottenere il moto della valvola distributrice mediante l'eccentrico. Per mezzo di appositi robinetti si può far sì che la tromba aspiri, o dal mare, o dalla caldaja, o dalla sentina della nave. Èvvi pure un tubo che conduce l'acqua sulla tolda per servire in caso d'incendio o altro. La macchinetta ausiliare munita di tali accessorj è di grande utilità pel piroscafo, e delle volte essa ha una caldaja separata a fine di poter operare indipendentemente: tuttavia per lo più opera col vapore delle caldaje principali.

LEZIONE XXI.

102. Effetto del Sale nelle Caldaje Marine. — 103. Incrostazione delle Caldaje. — 104. Conservazione delle Caldaje. — 105. Esplosione delle Caldaje.

APPENDICE: — Compendio delle Lezioni sulle Caldaje delle Macchine a Vapore.

102. *Effetto del Sale nelle Caldaje Marine.*— Allorquando si vaporizza acqua contenente sale marino in dissoluzione, il vapore prodotto non contiene mai alcuna parte sensibile di quel sale; dimodochè condensando il vapore si ottiene sempre acqua pura. Le caldaje marine sono alimentate ordinariamente con acqua del mare, la quale contiene una certa quantità di sal marino e di altri sali; siccome il vapore tratto dalla caldaja non contiene di tali corpi, ne segue che tutti i sali contenuti nell'acqua devono rimanere nella caldaja.

Un corpo dicesi disciolto nell'acqua. o in altro liquido, quando ogni parte anche piccolissima del liquido, contiene il corpo: cosicchè riesce impossibile separare meccanicamente un sale dal liquido che lo discioglie; per la perfetta divisione de' sali, l'acqua rimane perfettamente limpida, il che non potrebbe essere, supponendo le particelle in cui vien diviso, di una dimensione sensibile. Prendiamo una massa di acqua distillata, libera per conseguenza di ogni sale; aggiungendovi sal marino esso vi si discioglie e sparisce; continuando ad aggiungere sale,

viene un istante in cui esso invece di venire sciolto rimane nello stato solido; allora l'acqua, avendone disciolto quanto può, dicesi *satura:* è satura dunque quell'acqua la quale contiene tanto sale da non poterne disciogliere più; e la soluzione dicesi tanto più *concentrata* quanto più si avvicina allo stato di saturazione. Misurando la quantità di sale necessario a saturare un dato peso di acqua, si è trovato che 100 parti di peso di soluzione satura di sal marino contengono 35 parti di sale e 65 di acqua; possiamo dire perciò che l'acqua satura di sal marino ne contiene 35 per 100. L'acqua del mare nello stato ordinario ne contiene 2,65 per 100. Si supponga un tal peso di acqua del mare da contenere 35 chilogrammi di sale; conoscendo che in ogni 100 chilogrammi di acqua ve ne hanno 2,ch65 troviamo facilmente che 35 chilogrammi di questo corpo son contenuti in 1320 chilogrammi di acqua del mare. Se mettiamo quest'acqua in una caldaja e vi prestiamo calore, evaporandosi l'acqua mano mano, il sale rimane costantemente 35 chilogrammi; sicchè ridotta la soluzione a 100 chilogrammi, essa sarà *satura,* poichè conterrà 35 di sale e 65 di acqua. Supponiamo che in questo stato delle cose giungessimo altri 100 chilogrammi di acqua del mare, e tornassimo ad evaporare l'acqua introdotta; fatto questo la soluzione nella caldaja sarebbe nuovamente satura; ma noi dentro ai 100 chilogrammi di acqua del mare avevamo pure ch. 2,65 di sale; l'acqua essendo satura, non può sciogliere quel sale, esso dunque deve rimanere solido dentro la caldaja. Continuando perciò ad aggiungere acqua del mare e ad evaporarla, è chiaro che arriveremo a riempire la caldaja di sale in forma solida. E vediamo chiaramente da queste considerazioni che sarebbe impraticabile far operare la caldaja con acqua satura; vediamo bensì che qualunque siasi lo stato primitivo di concentrazione dell'acqua, essa giunge presto a saturarsi se si supplisce a quella evaporata con acqua del mare, poichè

in questa circostanza deve avvenire di necessità un accumulamento di sale. Sarebbe possibile forse estrarre questo in forma solida una volta saturata l'acqua, ma in questo stato ogni eccesso di sale, quantunque piccolo, si attaccherebbe alle pareti della caldaja, dalle quali sarebbe poi difficile staccarlo. È necessario dunque avere un mezzo di poter estrarre il sale dalla caldaja, a fine d'impedirne l'accumolamento e senza lasciare che se ne saturi l'acqua. Per far questo bisogna che si estragga dalla caldaja non solo il sale ma anche l'acqua che lo scioglie, e dovendo estrarre un peso determinato di sale, cioè quello rispondente alla quantità di acqua evaporata, la quantità di acqua che occorre cavare dalla caldaja sarà tanto più piccola quanto più concentrata sarà la soluzione; tanto che essendo satura affatto, si potrebbe estrarre solamente sale; d'altra parte se volessimo mantenere la concentrazione nella caldaja eguale a quella del mare, è evidente che per estrarre il sale dovuto all'acqua evaporata, dovremmo fare effluire dalla caldaja tanta acqua quanta se ne introduce, il che sarebbe chiaramente incompatibile coll'operar della caldaja, poichè così l'alimentazione verrebbe ridotta a zero.

Il portare l'acqua alla saturazione sarebbe perciò assai inconveniente; mantenerla nello stato in cui è nel mare sarebbe impossibile: è mestieri quindi mantenere un grado di concentrazione maggiore di quello del mare, ma minore di quanto risponde alla saturazione.

Perchè l'acqua si possa mantenere nello stato stabilito di concentrazione, è necessario avere un mezzo di misurare tale concentrazione; e si fa mediante uno strumento semplicissimo detto *salinometro:* è basato sul principio che la spinta attollente di un liquido è tanto maggiore quanto più denso sia quel liquido; il sale sciolto nell'acqua non ne aumenta sensibilmente il volume, per conseguenza ne accresce la densità; dimo-

dochè l'acqua satura di sale avrebbe la densità di circa 1,54; poichè il peso 100 di acqua diviene a un dipresso 154 allorchè è saturo di sale. La densità per conseguenza ci può indicare la quantità di sale ossia lo stato di concentrazione; e il salinometro ci denota la densità della soluzione, misurando la spinta attollente. Lo strumento in parola consiste in un bulbo *a*, fig. 134, di rame assai sottile, al quale è attaccato uno stelo cilindrico *bc*, anch'esso di rame sottile, dimodochè essendo il tutto più leggiero di un egual volume di acqua, esso galleggia allorquando lo si immerge in tal liquido, e la zavorra in *d* lo mantiene verticale. La zavorra viene regolata in modo che immergendo lo strumento nell'acqua distillata esso vi si affonda sino al punto *c*, dove si segna uno zero, per indicare che l'acqua allora non contiene punto di sale: poi s'immerge il salinometro nell'acqua satura di sal marino; essendo quest'acqua più densa, esso galleggia di più, e s'innalza fino al punto *b;* ivi si segna 10, che è un numero arbitrario scelto a denotare il massimo di concentrazione; finalmente il tratto fra *b* e *c* si divide in dieci parti eguali che rappresentano gradi di concentrazione. Il 10° grado significa dunque 35 per 100 di sale; il primo ne denota 3,5; e così per gli altri.

Quando si vuol conoscere lo stato di concentrazione dell'acqua della caldaja, se ne riempisce un piccolo recipiente e vi si immerge il salinometro. L'esperienza ha mostrato che la concentrazione più conveniente è quella che risponde a circa il 3° grado del salinometro, e che denota circa 10 per 100 di sale nell'acqua (1).

(1) S'intende che la temperatura dell'acqua deve influire sulle indicazioni del salinometro; e nel graduare lo strumento si dovrebbe adoperar l'acqua quasi bollente, poichè siasi qual si voglia la tensione nella caldaja e la conseguente temperatura, appena l'acqua esce e si trova sotto la sola pressione atmosferica, il suo grado cade a quello ordinario d'ebollizione.

Digitized by Google

Vediamo adesso quanta acqua bisogna estrarre dalla caldaja, perchè si mantenga costante questa concentrazione.

Abbiamo mostrato che per impedire la saturazione dell'acqua nella caldaja è necessario estrarne non solo il sale ma pure quella quantità di acqua che lo mantiene in dissoluzione; il rapporto tra l'acqua e il sale cangia evidentemente con lo stato di concentrazione: quanto più forte è la concentrazione, tanto minore sarà la quantità relativa di acqua, e viceversa. La pratica ha stabilito, come dicemmo, che la concentrazione più conveniente all'acqua delle caldaje marine è quella mostrata dal 3° grado del salinometro, e che risponde ad una quantità di sale in rapporto all'acqua, o più correttamente, in rapporto alla soluzione, di 1 : 10; cioè la soluzione contiene 10 per 100 di sale. Stabilito questo, e conoscendo che l'acqua del mare contiene 2,65 per 100 di sale, è facile computare quanta soluzione bisogna estrarre perchè rimanga costante la concentrazione. Facendo penetrare nella caldaja 100 chilogrammi di acqua del mare, vi abbiamo introdotto ch. 2,65 di sale; ma la soluzione nella caldaja contiene il 10 per 100 di sale; occorre dunque estrarre una quantità di soluzione 10 volte maggiore del solo sale: per sbarazzarci de' chilogrammi 2,65 è necessario, per conseguenza, gettar via $2{,}65 \times 10 = 26{,}{}^{ch}5$ della soluzione dalla caldaja. Per ogni 100 chilogrammi di acqua di mare introdotti, bisogna dunque estrarre ch. 26,5 di soluzione, utilizzando in vapore i rimanenti ch. 73,5.

È evidente che tale efflusso di acqua salina deve portare con sè una perdita di calore, epperò di combustibile, essendo che l'acqua viene introdotta nella caldaja alla temperatura del condensatore, e ne viene estratta alla temperatura d'ebollizione sotto la tensione data. Conoscendo la quantità di acqua estratta, e conoscendo le temperature, è facile precisare la perdita indotta. La

temperatura del condensatore nelle macchine marine è circa 50°; quella della caldaja è circa 130°; il riscaldamento è dunque : 130° — 50° = 80°. Abbiamo veduto che per ogni 100 chilogrammi di acqua introdotti bisogna estrarne ch. 26,5 i quali essendo scaldati di 80° assorbono : ch. 26,5 × 80° = 2120 calorie (supponendo eguale a quello dell'acqua il calore specifico del sale). La quantità del calore utilizzata nella formazione del vapore sarebbe come segue : il calore totale del vapore acqueo equivale a 637 calorie per ogni chilogramma (§ 27), supposto che si operi sopra acqua allo zero; ma noi abbiamo l'acqua di già a 50°; il calore bisognevole sarebbe dunque : 637 — 50 = 587 calorie per ogni chilogramma; da ogni 100 chilogrammi di acqua introdotti nella caldaja si ottengono, come abbiamo computato sopra, ch. 73,5 di vapore; la quantità di calore utilizzata è dunque: 587 × 73,5 = calorie 43144. E la proporzione tra il calore utilizzato e quello perduto per l'estrazione del sale è di 43144 : 2120; e però la perdita risultante è un po' meno di $^1/_{21}$ dall'intera quantità di calore adoperato.

Per estrarre la quantità di acqua di cui sopra è parola, sono in uso due metodi: nel primo, l'estrazione si pratica mediante trombe mosse dalla macchina; nel secondo metodo l'acqua si lascia effluire, di continuo ovvero a intervalli, per un semplice tubo munito di robinetto. Col semplice tubo a robinetto è difficile mantenere costante l'estrazione, infatti è chiaro che ogni aumento di tensione farà effluire maggior quantità di acqua, e viceversa per un minoramento di tensione; un altro inconveniente di questo metodo si è che fermandosi la macchina e per conseguenza cessando l'alimentazione, se non si è accorti di chiudere nel tempo medesimo il robinetto d'estrazione, questo continuerà a lasciar effluire l'acqua, e la caldaja potrebbe vuotarsi, epperò venir bruciata dal fuoco. Per queste ragioni sembra più sicuro il

metodo delle trombe; la costruzione di queste è simile a quella delle trombe alimentatrici, se non che esse operano al contrario di quelle, tirando fuori l'acqua dalla caldaja e portandola al mare. Siccome le trombe d'estrazione, dette tecnicamente *trombe del salino,* operano in modo inverso di quelle alimentatrici, così invece di prender lavoro nell'esser mosse, tendono a dare forza al meccanismo al quale sono connessi. Essendo la quantità di acqua estratta sempre proporzionata a quella introdotta, il livello dell'acqua nella caldaja rimane pressochè costante; e siccome tanto l'alimentazione quanto l'estrazione dipendono dal movimento della macchina, cessando l'una cessa pure l'altra. Tuttavia, non ostante la superiorità del mezzo delle trombe, si adopera più spesso il robinetto, perchè assai più semplice.

Siccome l'acqua estratta è più calda di quella di alimentazione, si tentò di scaldare quest'ultima facendola passare per piccoli tubi circondati dall'acqua d'estrazione; ma, come abbiamo calcolato sopra, la perdita non è più di $^1/_{21}$; non vale dunque la pena d'introdurre complicazioni col fine di ricuperarla in parte.

103. *Incrostazione delle Caldaje.*— Oltre al sal marino di cui abbiamo detto, l'acqua del mare contiene in soluzione altri corpi, principali tra cui sono i sali di magnesia e quelli di calce; la quantità di questi sali è assai piccola, è infatti meno dell'un per cento; pure per la grande durezza dell'incrostaziono da essi formata, sono assai più nocivi alla caldaja che non il sal marino, il quale, come dicemmo, esiste nella caldaja nella proporzione del decimo dell'acqua. Per la stessa ragione per cui l'acqua nella caldaja contiene maggior quantità di sal marino, che non quella del mare, essa contiene pure maggior copia degli altri sali, poichè la concentrazione si fa egualmente per tutti i corpi sciolti. Evaporandosi l'acqua, i sali disciolti di calce e di magnesia vengono de-

posti in contatto molecolare sulle pareti riscaldanti, e vi formano perciò un incrostamento cristallino assai compatto, e tanto aderente da render necessarj colpi di martello a distaccarlo. Qualunque aggregazione di particelle già meccanicamente aggruppate non potrebbe formare un corpo di struttura cristallina, com'è infatti la gruma delle caldaje, diversissima dalla crosta terrosa che si forma per semplice deposizione di fango nelle parti quiete della caldaja; bisogna per conseguenza imaginare che le molecole sieno abbandonate dal solvente ad una ad una, e propriamente in contatto molecolare con la parete, in guisa da formarvi una vera cristallizzazione; e quindi che lo incrostamento avvenga a cagione della formazion del vapore; e si osserva di fatto che la gruma cristallina si forma più dura e in maggiore abbondanza nelle caldaje che dànno vapore a forti tensioni, forse perchè le bollicine incipienti sono più piccole ed è perciò più grande il numero delle molecole abbandonate infra la sfera dell'attrazione molecolare. Un fenomeno simile si nota nei tubi che conducono l'acqua potabile: i sali di calce vi son mantenuti in soluzione per la presenza del gas acido carbonico, anch'esso disciolto; stropicciando l'acqua sulle pareti de' tubi, il gas si sviluppa e abbandona le molecole saline vicinissimo alle superficie, sì che vi aderiscono molecolarmente e vi formano una gruma durissima e cristallina (1). Parrebbe che secondo questa idea l'incrostazione cristallina dovesse formarsi solamente sulle pareti scaldate: si trova invece che si forma pure sopra quelle che sono situate nell'acqua al di sopra di quelle riscaldate, ma che non ricevono calore dal fuoco; questo fatto potrebbe spiegarsi considerando che l'acqua del mare, in virtù della qualità mucilagginosa che acquista

(1) Questa teorica dell'incrostazione cristallina fu enunciata per la prima volta da mio padre, nell'*Artizan* nel 1866.

nella caldaja, può riscaldarsi ad una temperatura maggiore di quella del vapore; in tale stato di soprariscaldamento, ogni superficie che incontra diviene cagione di svolgimento di vapore, poichè l'acqua contiene il calore necessario a vaporizzare una parte di sè stessa, e basta l'effetto dell'urto e dell'attrito contro le superficie a compiere tale vaporizzazione. In questa guisa dunque, le superficie disposte in modo da essere incontrate dalle correnti che salgono dalle pareti riscaldate, divengono veri sviluppatori di vapore; si attacca dunque sopra di esse la incrostazione cristallina, come si attacca sulle superficie riscaldate dal fuoco.

Il solfato di calce, contenuto in piccola quantità nell' acqua del mare, offre un fenomeno curioso e importante, in riguardo alla sua solubilità nell' acqua: generalmente la solubilità de' sali cresce a misura che si eleva la temperatura del liquido solvente; ma nel caso del solfato di calce avviene il contrario: esso si scioglie più difficilmente quando è più elevata la temperatura, tanto che a 140° esso diviene totalmente insolubile. Dimodochè se noi potessimo assoggettar l' acqua a questa temperatura prima d'introdurla nella caldaja, l'avremmo totalmente spogliata dal solfato di calce, o per lo meno le avremmo fatto deporre quel sale. Si è tentato di far questo in varj modi, ma sin ora non esiste in pratica alcun metodo da potersi adoperare con successo; non solamente occorre che il sale sia deposto, ma pure che sia separato dall'acqua; cosa difficilissima, chi rifletta alla estrema sottigliezza de' corpi deposti dalle soluzioni; per altro la questione è molto importante, essendo che il solfato di calce forma una parte notevole dell' incrostamento cristallino delle caldaje marine.

I sali e le materie terrose che si depongono per solo riscaldamento, non possono formare l'incrostazione compatta; perchè si formi tale struttura cristallina è neces-

sario, come si disse, che le materie che la compongono sieno disciolte nell'acqua, sieno cioè vere molecole. Quelle materie che sono semplicemente sospese nell'acqua vanno a deporsi sopra le superficie da cui non partono correnti di vapore, e formano l'incrostazione fangosa, che, come indica il suo nome, è assai meno dura di quella cristallina, e facile a rimuoversi.

Anche le caldaje da terra vanno soggette all'incrostamento; e varia secondo la qualità dell'acqua, sia in durezza, sia in quantità: per lo più è necessario pulire le pareti dal fango una volta ogni quindici giorni, a malgrado dell'espurgo che possa praticarsi durante l'operar della caldaja. L'incrostamento cristallino si forma men rapidamente; pure, per le acque di consueta composizione, bisogna *martellare* la caldaja almeno una volta al mese.

Sono stati proposti varj mezzi d'impedire tale incrostazione, come quella che reca grande fastidio, e ci costringe a dare certe forme alle nostre caldaje. Ma fin ora nessuno è stato sanzionato da' fatti, se togliamo la condensazione a secco; mercè la quale ritorna alla caldaja la medesima acqua uscitane in forma vaporosa, la quale quindi, deposti una volta i sali contenuti, è incapace di deporne altri. E questo artifizio per le caldaje marine evita pure l'estrazione del salino, sì che molti piroscafi si muniscono oggidì di questi condensatori a secco, che descriveremo dicendo de' condensatori.

104. *Conservazione delle Caldaje.*—Varie cagioni concorrono a far deteriorare le caldaje assai più prontamente di quanto si crederebbe a prima giunta; e alcune di tali cagioni sono da potersi evitare mercè una giusta premura da parte del macchinista, e per ciò noi diremo qualche cosa sull'argomento; ed importa non solo per la perdita commerciale derivante dal guastarsi anzi tempo della caldaja, ma più ancora per le tremende conse-

guenze che possono seguire a tali guasti. Le cause principali per cui si deteriorano le caldaje, singolarmente le marine, sono queste : 1° l'ossidazione esterna, cagionata dal bagnarsi le pareti con acqua salsa; 2° l'incrostamento delle superficie interne, che cagiona l'eccessivo riscaldamento delle lamiere esposte a' gas caldi; 3° la corrosione pel vapore soverchiamente soprariscaldato; 4° l'indebolirsi delle lamiere per l'espansione ineguale, e per essere sottoposte troppo a lungo alla forza del vapore.

L'arruginirsi delle caldaje pel contatto esterno di acqua insieme e di aria, reso vieppiù rapido per la temperatura e la salsedine, riesce assai distruttivo, e quindi è della massima importanza mantenere asciutte esternamente le lamiere. Spesse volte le caldaje marine posano sopra travi di legno: ciò è dannosissimo, poichè tali travi, inzuppandosi di acqua del mare, mantengono sempre più o meno bagnate le lamiere che riposano su di esse, e le fanno ossidare rapidamente; e molte sono le caldaje che si osservano del tutto guaste nelle porzioni inferiori, appunto per la causa accennata; è meglio sostituire appoggi di ghisa alle travi di legno, di maniera che la caldaja rimanga quanto più possibile isolata. Le perdite di acqua e di vapore, in sè medesime insignificanti, possono riuscire di grave danno bagnando localmente le lamiere e corrodendole per la ruggine; d'onde l'importanza di situare le caldaje in maniera che si possan visitare in ogni parte e mantenere bene asciutte; e a quest'ultima condizione concorre assai una buona circolazion d'aria di intorno, che impedisca l'accumularsi di un'atmosfera umida.

Abbiamo già veduto (§ 103) come le superficie riscaldanti si cuoprono più o men presto di una gruma dura e cristallina, che conduce assai male il calore. Tale gruma, ove le si lascia assumere notevole spessezza, diviene sorgente di grave guasto alle lamiere ovvero tubi che ne

sieno incrostati, poichè non potendo questi agevolmente comunicare all'acqua il calore ricevuto da' gas, si riscaldano più del dovere e ne soffrono nella loro struttura molecolare. E può avvenire pure che si arroventino e si rammolliscano, tanto da cedere alla pressione del vapore, come si vedrà nel seguente paragrafo. Il rimedio a questo inconveniente è tanto ovvio quanto ne è difficile la pratica, cioè, rimuovere la gruma prima che si rende troppo spessa; e dicemmo (§ 88) che talvolta diviene necessario toglier fuora i tubi delle caldaje, appunto per la impossibilità di pulizzarli in posto; in ogni modo il macchinista dovrebbe con ogni premura procurare di mantener ben netta la caldaja, specie le superficie riscaldanti. E questo fatto della incrostazione dovrebbe influire assai sulla scelta delle caldaje da adoperarsi ne' varj casi: per esempio, si può dire che le caldaje tubolari sieno migliori di quelle a lamiere, tanto per la leggerezza quanto pel poco spazio occupato, e per non aver bisogno di fabbrica; pure dove l'acqua non sia eccellente, in modo da non formare notevoli quantità di gruma, riescono male, e appunto per la difficoltà di scrostare i tubi; e se si adoperano quasi universalmente per le macchine marine, per le locomotive, e per le locomobili, egli è, come si disse, perchè la leggerezza indispensabile non puossi ottenere in altre guise.

Dicemmo (§ 96) che il tubo che dà esito al vapore vuol essere situato in modo da prendere il fluido dal punto più alto della caldaja, in ispecie ove siavi soprariscaldamento: in caso diverso il vapore soprariscaldato, accumulandosi nel cielo della caldaja, acquisterebbe altissima temperatura e diverrebbe altamente corrosivo; e ciò si evita cavandolo dal punto più alto, essendo che allora ogni parte delle superficie vien spazzata ognora da nuovo vapore. Pure in pratica non sono rari gli esempj in cui questa considerazione è trascurata: importa quindi

a chiunque abbia da far con caldaje, accertarsi del vero stato delle cose, e appurare in tempo il progresso del male.

Nel descrivere la costruzione della caldaja di Cornovaglia (§ 93), abbiam mostrato esser buono far conico l'ultimo tratto del tubo a fornello, a fine di lasciar maggiore flessibilità alla parete piana posteriore, e far sì che non sieno soverchiamente sforzate le giunture, per effetto della espansione ineguale. E un tale artifizio, in varie forme, si rende spesso necessario per compensare le differenze di temperatura cagionate anche dall'incrostamento, come pure per dare una certa flessibilità a tutta la caldaja, e lasciare che le parti si mettano in eguale tensione. Pure non di raro s'incontrano casi in cui il costruttore non tenne giusto conto di cotale principio, e per conseguenza la caldaja si va guastando per essere le giunture e le lamiere sottoposte a forze più intense di quelle a cui dovrebbero regolarmente resistere. Oltre a questa causa di guasto, che risulta da cattiva costruzione, sembra che il ferro delle caldaje, specie nelle giunture, col lungo andare si vada deteriorando per l'effetto della pressione insieme e della temperatura: in una memoria letta in febbraro 1870, all'Istituto degl'Ingegneri di Scozia, il signor P. Carmichael descrive certe esperienze da lui fatte sopra due vecchie caldaje di Cornovaglia; dopo aver lavorato in buona condizione per ben diciannove anni, queste caldaje, sottoposte alla pressione idraulica sino alla rottura, furon fiaccate da una pressione eguale a circa un terzo di quella a cui avrebbero probabilmente resistito nello stato iniziale del ferro. Nè tale difetto di resistenza poteva attribuirsi a cagioni esteriori: poichè tolta la fabbrica d'intorno, le lamiere tutte, e le giunture, furon trovate senza sensibile corrosione, e le caldaje avevan tutta la sembianza di essere intatte. Pure sottoposte alla prova varie stri-

sce tagliate dalle medesime, la loro resistenza riuscì assai più piccola di quella del ferro nuovo di simile qualità. Queste esperienze importantissime dimostrano che anche senza corrosione, o altro segno esterno di guasto, le caldaje dopo lungo tempo si fiaccano più facilmente, per un certo strapazzo molecolare subìto dal metallo; e ci avvertono di essere assai accorti nell'esaminare le caldaje, in guisa da sospenderne l'operazione, o per lo meno farle operare a pressione più bassa, quando si sieno per una causa qualunque indebolite. Il signor Carmichael opina che non si dovrebbe mai far lavorare una caldaja per più di sedici o diciassette anni; ma s'intende dover ciò dipendere assai dalla qualità del ferro, dalla forma, dalla manutenzione e mille altre cause concomitanti; in ogni modo sarebbe utilissimo che si facessero esperienze sul proposito di questo strapazzo molecolare del ferro, essendo che fin ora egli è un fenomeno che si conosce poco (1).

105. ***Esplosione delle Caldaje.***—I terribili casi a cui suol darsi il nome di ***esplosione*** posson dividersi in due classi ben diverse: poichè talvolta il fenomeno accade per ragioni benissimo conosciute, e secondo le ordinarie leggi della meccanica; tal altra assume una intensità così tremenda da doversi attribuire all'operazione di forze del tutto eccezionali, senza paragone più intense e subitanee di quelle che operano ordinariamente, e di cui fin ora non si è riuscito a precisare le cagioni. Gioverebbe chiamar ***scoppio*** la prima maniera, ed esplosione l'altra, essendo che questa sola presenta le caratteristiche spaventevoli dell'esplosione della polvere da sparo, de' composti fulminanti ecc.

Lo scoppiare delle caldaje accade sempre per un eccesso di pressione rispetto alla resistenza del recipiente;

(1) Si veda *The Engineer* del 22 aprile 1870.

Digitized by Google

e s'intende che tale eccesso relativo può avvenire, o per un vero aumento nella tensione del vapore, ovvero per l'indebolirsi della caldaja ove si mantenga uniforme la tensione. L'aumentarsi graduale della tensione a segno di far scoppiare la caldaja, può accadere unicamente per difetto della valvola di sicurezza, ovvero per essere questa caricata di peso maggiore di quello contemplato nel disegno della caldaja; quantunque appaja manifesto l'assurdo di tale eccessivo gravamento della valvola, si legge di accidenti avvenuti per questa cagione fin da' primi tempi in cui si cominciava ad usare il vapore (1), ed io talvolta mi sono imbattuto in valvole così gravate, sia per l'ingordigia del proprietario della macchina, che credeva poterne in tal guisa ottenere maggior profitto, sia per l'ignoranza del macchinista, che adoperava tale espediente per far chiudere bene una valvola in sè medesima difettosa. E sembrami che qualora avvenga un accidente in simili casi, la cagione sia da addimandarsi morale anzichè fisica. Insisteremo dunque più particolarmente sopra gli scoppj che avvengono per l'indebolirsi delle caldaje, e sono in vero i più frequenti.

L'indebolirsi delle caldaje può accadere in varie guise: 1° per una qualunque delle cagioni deterioranti accennate nel § 104; 2° per la mancanza di acqua e il conseguente rammollirsi delle lamiere lambite dalla fiamma; 3° per l'arroventamento delle lamiere isolata dall'acqua

(1) «Circa tre anni sono—racconta Desaguliers—un uomo affatto ignorante della natura della macchina, e senza alcuna istruzione, tolse l'impegno di condurla (si trattava di una macchina di Newcomen); ed avendo posto il contrappeso della valvola all'estremità della leva, a fine di raccorre maggior copia di vapore e fornire più presto il suo lavoro egli appese pure in cima alla leva un pesantissimo ferro da stagnajo: la conseguenza fu letale, poichè dopo alcun tempo il vapore, non essendo capace di sollevare la valvola con insieme la leva, caricata di tutto quel peso inusitato, fiaccò la caldaja con un grande fracasso, e il pover uomo ne rimase morto.» Desaguliers, *Experimental Philosophy*, II, 489.

per l'incrostazione. Resa una parte della caldaja incapace di resistere alla pressione, quella parte cede; ma la conseguenza non è sempre ugualmente importante: sogliono essere più micidiali gli scoppj provenienti da guasti per corrosione o simili, poichè il fiaccarsi di una parte della caldaja rende sùbito assai più debole il rimanente, sì che la rottura assume grandi proporzioni. Per esempio, in una caldaja tubolare marina può avvenire che, per la presenza di vapore soverchiamente soprariscaldato, sia corrosa la parte superiore della gola del fumajuolo; la corrosione è maggiore nei pressi delle giunture; indebolita una di queste, tanto da non poter resistere alla pressione, si apre; ma l'atto medesimo difforma ogni parte della cucitura, sì che il più delle volte si stracciano anche quei tratti che senza il fiaccamento iniziale avrebbero potuto resistere benissimo; e quindi vengon liberate in un sùbito immense quantità di vapore e di acqua, tanto più che il repentino abbassarsi della pressione pel subitaneo sfogo, induce una forte corrente in verso lo squarcio, e l'ebollizione diviene tumultuosissima. E questa corrente ajuta anch'essa ad accrescere il danno, operando meccanicamente sulle pareti già squarciate. In quei casi in cui la caldaja sia in cattivo stato dappertutto, lo scoppio può prendere importanza terribile pel cedere delle giunture per lunghezze notevoli, e nelle caldaje da terra è accaduto talora che l'aprirsi della caldaja nelle parti inferiori l'ha projettata tutt'insieme in aria ed a grande distanza, per la reazione del flusso di vapore e di acqua sulla fabbrica circostante.

L'arroventarsi delle lamiere per difetto di acqua suole accadere in singolar modo nelle caldaje di Cornovaglia, poichè in esse non si ha un grande volume di acqua sopra il fornello (1). Il più delle volte, quando il ferro è

(1) Non possiamo qui esaminare le cagioni svariatissime che possono indurre il difetto di acqua nelle caldaje; un tale esame apparterrebbe a

Digitized by Google

di buona qualità, avviene la difformazione della volta del fornello mentre la resistenza è ancor bastevole a sostenere la pressione; si abbassa una specie di vescica in verso la graticola, e se il ferro è dolce abbastanza da difformarsi tanto senza fiaccarsi, la prossimità della volta abbassata rallenta il fuoco, e il pericolo di rottura è cessato. Ma può accadere pure che il ferro resista fino a che sia rammollito tanto da lacerarsi a dirittura quando vien giù la volta. In ogni modo gli scoppj di questo genere sembrano men gravi di quelle derivanti da corrosione; tuttavia per la positura della parte che cede per la prima (la volta del fornello), è evidente il pericolo immediato del fuochista.

L'arroventamento per l'incrostazione conduce a simili conseguenze, se non che la temperatura può elevarsi ancora più, per questo che la gruma stessa sostiene in certo modo la pressione (1), sì che la lamiera può rammollirsi assai, e poi per la rottura della gruma subire di botto la spinta del vapore.

Da quello che abbiamo detto appare che in ogni caso di scoppio è assai probabile la colpa di chi regge la macchina: ciò è chiaro quanto all'arroventarsi delle lamiere; e quanto all'indebolirsi della caldaja per corrosione o altro, la colpa c'è pure, poichè il macchinista dovrebbe spesso esaminare la caldaja in ogni parte, ed esser ben sicuro della sua sufficiente resistenza: e' sembra, dunque, che una regolare premura dovrebbe impedire lo scoppiar delle caldaje. In ogni modo, essendo perfetta-

un trattato sulla manutenzione: ci basti accennare che la mancanza di acqua suol essere effetto, o di vizj nella tromba alimentatrice, o di ebollizione tumultuosa, o di perdite notevoli di acqua per difetti della caldaja o per guasti negli ingegni d'estrazione ecc.

(1) È stato notato qualche volta che corrosa interamente una lamiera, in guisa da lasciare un foro di parecchi centimetri quadrati, la spessa gruma che copriva tal foro sosteneva essa sola la pressione regolare del vapore nella caldaja.

mente note le cause che inducono tale fenomeno, è da sperare che vi si trovi efficace rimedio.

Quanto alle vere esplosioni, fortunatamente rarissime, non si ha fin ora una teorica bene stabilita che spieghi in maniera soddisfacente i fatti osservati; e questi sono della natura seguente: una locomotiva sta aspettando alla stazione l'arrivo del convoglio la cui macchina essa deve surrogare; il vapore ha la giusta tensione, e la valvola di sicurezza lascia sfuggire quello che si va svolgendo; giunge il convoglio, il macchinista apre la valvola d'emissione per condurre la locomotiva sul binario, e a un tratto si ode una terribile detonazione, la locomotiva tutta infranta vien scagliata in aria come se fosse lieve pagliuzza, rovinano gli edifizj vicini quasi per un tremuoto, e nel luogo dove stava la locomotiva si vede una gran fossa scavata dall'impeto dell'esplosione, e tutt'intorno disfacimento indicibile d'ogni cosa. Tali effetti denotano estrema violenza nelle forze che gli operano: non potrebbero in niun modo esser cagionati da una quieta pressione elastica che gradatamente aumentasse, nè dal cedere di una caldaja indebolita; siam costretti a imaginare che si generi *di botto* una forza notevole, sì che l'inerzia stessa delle pareti impedisca che cedano dapprima nel punto più debole per dar sfogo a quella forza; come accade nel caso di una canna da fucile, che senza fallo scoppia con la consueta carica purchè la bocca ne sia turata anche di un po' di creta, o immersa di qualche centimetro dentro l'acqua: la forza de' gas, svolti nella combustione della polvere, si sviluppa con tale rapidità, che basta l'inerzia di quel poco ostacolo a farle assumere, per lo istante, una intensità tale da far schiattare la canna, e prima che ci sia stato tempo di espellere il tappo; forse la medesima pressione si forma pure senza che questo vi sia, ma allora la sua durata è sì breve che la canna non ha il tempo di cedere. In ogni modo il fenomeno

dell' esplosione indica chiaramente una forza oltremodo repentina, che si potrebbe paragonare ad una gagliarda percossa, vibrata nel medesimo istante sopra tutta la superficie interna.

Numerose ipotesi sono state messe innanzi per spiegare in qualche maniera una tale subitanea generazione di forza: si crede da alcuni che le lamiere lambite dalla fiamma si arroventino per mancanza di acqua o per incrostamento ecc., e che poi, penetrando l'acqua a un tratto, o rompendosi la gruma, il calore contenuto nel metallo rovente, svolga di sùbito gran quantità di vapore (1); se non che varie circostanze rendono improbabile assai questa idea: se le lamiere fossero roventi, certo non resisterebbero alla pressione regolare del vapore; e poi l'acqua non verrebbe in contatto con superficie caldissime, poichè piglia in tal circostanza lo stato sferoidale (§ 12 *nota*), e bagna le lamiere sol quando la temperatura di queste sia caduta a 150° circa; or quanto vapore potrebbero svolgere le lamiere con sì lieve eccesso di temperatura?—Un'altra ipotesi (2) suppone che le cose si passino così: si conosce che l'acqua priva di aria per prolungata ebollizione, può riscaldarsi gradatamente a temperatura ben più elevata (forse 50°) di quella dovuta alla pressione, essa infatti può soprariscaldarsi; in tale stato contiene in sè medesima una certa quantità di calore, e basta una leggiera agitazione a far cadere sùbito la temperatura a quella ordinaria d' ebollizione, mercè lo svolgimento immediato di quanto vapore risponde all' eccesso di calore contenuto; l' acqua nella caldaja potrebbe assumere una tale condizione, comechè non sia poi assai probabile, e l' aprirsi della valvola e conseguente abbassarsi della pressione potrebbe indurre l'ebollizione istantanea e lo svolgimento di notevole quan-

(1) Rankine, *Prime Movers*, p. 466.

(2) Tyndall, *Heat as a Mode of Motion*, p. 113.

tità di vapore. Una terza ipotesi (1) si basa sul fatto che allorquando in uno spazio contenente un gas, si fa penetrare un liquido capace di generar vapore di una certa tensione, la tensione del fluido misto si rende eguale alla somma delle tensioni de' due fluidi: si supponga lo spazio sopra l'acqua nella caldaja pieno di vapore soprariscaldato, e che l'acqua sia tranquilla ed alla temperatura rispondente alla tensione; se in questo stato delle cose avviene un abbassamento di pressione, per l'aprirsi della valvola, o altro, l'acqua entra in tumultuosa ebollizione, e s'innalza spumeggiante in mezzo del vapore soprariscaldato; siccome questo non si oppone all'evaporazione dell'acqua già calda e che presenta immensa superficie, alla sua pressione si aggiunge di botto, per un istante, quella dovuta alla temperatura dell'acqua. Sia, per esempio, la pressione del vapore soprariscaldato 3 atmosfere; la sua temperatura 200°; la temperatura dell'acqua sarebbe circa 134° (rispondente a 3 atmosfere); e la differenza di quei 66° fra l'acqua e il vapore, potrebbe esistere benissimo con la superficie tranquilla e forse coperta di schiuma; innalzandosi l'acqua in mezzo del vapore soprariscaldato, essa darebbe sùbito, per evaporazione, vapore della tensione di 3 atmosfere, sì che l'intera forza del fluido misto sarebbe pel momento di 6 atmosfere; dico per il momento, poichè il vapore soprariscaldato posto in contatto intimo con quello naturale, perde tosto il suo eccesso di temperatura e la sua qualità di gas, di modo che la tensione diventa 3 atmosfere, per come risponde alla temperatura esistente. Pure sembra probabile che a produrre gli spaventevoli effetti dell'esplosione basterebbe l'intervallo di tempo necessario al raffreddamento del vapore soprariscaldato. In ogni modo questa ipotesi ci avverte di essere guardinghi nel soprariscaldare notevolmente il vapore nella caldaja

(1) J. Gill, *Thermodynamics of Elastic Fluids*, p. 50 et seq.

stessa (§ 96), come pure di non aprir mai di sùbito la valvola, sibbene a poco a poco.

Sembra che nè queste riferite, nè altra delle numerose ipotesi state proposte, sieno del tutto soddisfacenti; e bisogna confessare che il terribile fenomeno delle esplosioni è ancora avvolto nel mistero; nè ciò deve recar meraviglia: dicemmo essere rarissimi questi casi; e per altro si comprende come gli esperimenti in proposito, abbenchè importantissimi, non invoglino poi troppo.

Digitized by Google

APPENDICE ALLA LEZIONE XXI.

Compendio delle Lezioni sulle Caldaje delle Macchine a Vapore.

80. Il lavoro meccanico reso dalla macchina a vapore si deve al calore svolto nella combinazione chimica del combustibile con l'ossigeno atmosferico; e la caldaja adempie due diversi ufficj, cioè: lo svolgimento del calore appunto per la combustione; e la sua immissione dentro dell'acqua per produrre il vapore. Chiamasi fornello quella parte della caldaja che serve a promuovere la combustione, e superficie riscaldanti si dicono quelle parti il cui scopo è di raccogliere il calore e darlo all'acqua; e s'intende che queste ultime devon formare pure l'involucro contenente l'acqua medesima.

81. A fine di permettere un facile accesso di aria al combustibile, questo vien disposto sopra una graticola formata di spranghe di ghisa che lasciano piccoli interstizj fra l'una e l'altra; la bocca del fornello è chiusa, di maniera che l'aria possa penetrare unicamente per le fessure fra le sbarre. Dalla parte posteriore il fornello comunica con un meato, detto camino, che circonda la caldaja in varie maniere secondo la specie di essa, e va poi a sboccare in un passaggio verticale detto canna fumaria o fumajuolo; questo si riempie di gas più o meno caldi e quindi più lieve in ispecie dell'aria esterna, e ne conseguita che la pressione dentro la base della canna è più piccola della atmosferica; da ciò un continuo fluire dell'aria esterna per le fenditure della gra-

Digitized by Google

ticola, intorno al combustibile, per i camini e finalmente alla canna fumaria. Si ottiene così che la combustione avvenga con vivacità, che i prodotti di essa passino avanti per i camini e riscaldino le pareti della caldaja con cui vengono in contatto, e che il fumajuolo sia alimentato sempre di gas caldi che mantengono l'aspirazione; e a quest'ultimo scopo si ha cura di non togliere ai gas se non una parte del lor calore. Nelle macchine senza condensazione spesse volte si scarica il vapore per un becco dentro la canna fumaria, ed ha l'effetto di aumentare assai l'aspirazione; e con lo stesso fine si adopera talvolta un ventilatore a forza centrifuga. Siccome il calore svolto dipende dal contatto di aria col combustibile, così per regolarne la quantità secondo i bisogni della macchina, si regola la corrente di aria, sia per mezzo di una valvola o saracinesca alla base della canna fumaria, sia mediante sportelli posti sulla bocca del cinerario.

82. La pressione elastica che opera dentro di un recipiente tende ad aumentare la capacità di esso, poichè spinge le pareti ovunque perpendicolarmente. Quando il vaso ha forma tale che la difformazione ne aumenti il volume, esso si difforma infatti; quando invece la difformazione non accresce per nulla la capacità, il vaso non si difforma, resiste fino a che la forza non è tale da stirare le pareti. Da ciò risulta che sono più forti, a parità di altre circostanze, quelle caldaje la cui forma non ammette un aumentarsi del volume per difformazione; la sfera adempie perfettamente tal requisito, e gli antichi, fino a Savary ne fecero uso; ma essa ha l'inconveniente di occupare molto spazio e di contenere assai acqua per una data superficie; e quindi oggidì si adoperano sempre le caldaje cilindriche ovvero prismatiche, e in queste ultime le pareti di contro sono legate insieme affinchè si bilancino le pressioni.

83. A' tempi di Watt si adoperava il vaporo a tensione assai bassa, e per conseguenza bastava la forma prismatica, rinforzata tuttavia a mezzo di tiranti. La caldaja di Watt era disposta in un fornello di fabbrica in modo che i gas caldi la spazzavano tutt'intorno, ed era assai efficace; tanto che in oggi si adoperano le medesime disposizioni di camini con le caldaje cilindriche.

84. E consistono queste in un semplice involucro cilindrico terminato alle estremità da pareti piane o emisferiche. Hanno l'inconveniente che le materie terrose deposte dall'acqua tendono a formare un sedimento nel fondo della caldaja, e siccome è questo appunto che subisce il calore più intenso del fuoco, ne può venire il bruciarsi delle lamiere.

85. Si evitò tale inconveniente nella caldaja di Cornovaglia praticando il fornello in un largo tubo che percorre la caldaja; in questa guisa le sostanze deposte non possono formare una grande spessezza sulla parete lambita dalla fiamma, per esser questa convessa nell'interno; e vanno invece a posare nelle parti inferiori, che si mantengono comparativamente fredde. Nelle caldaje di grande potenza si adoperano due di questi tubi a fornello per aumentare la superficie e per evitare un fornello troppo grande. Galloway aggiunse alla caldaja di Cornovaglia certi tubi conici che dànno il doppio vantaggio di accrescere notevolmente la superficie e di rinforzare assai il tubo a fornello, tanto che delle volte si dà a questo una sezione ellittica con l'asse maggiore orizzontale, e le parti comparativamente piane si sostengono a mezzo di tubi di Galloway.

86. Le caldaje cilindriche e quelle di Cornovaglia sono adoperate sempre nelle macchine da terra che non sieno trasportabili: ma per quei casi in cui la caldaja si ha da trasportare, come ne' piroscafi ecc., è importante che sia leggiera e compatta quanto più possibile; e perciò si adoperano in tali casi le caldaje tubolari. Queste caldaje riescono più leggiere e più compatte delle altre perchè i recipienti cilindrici sono tanto più resistenti quanto più piccolo sia il loro diametro, e quindi ad avere una data resistenza nei tubi basta una grossezza minore di quella necessaria ne' recipienti più grandi; ed è manifesto che una data superficie composta di tubi può disporsi in uno spazio più piccolo di quello occupato da egual superficie in grandi cilindri. E quindi una caldaja consistente in soli tubi sarebbe assai più leggiera e più compatta di un'altra d'eguale potenza composta di lamiere. Fin ora le caldaje totalmente tubolari non si adoperano in pratica, per certe difficoltà costruttive e di manutenzione; e

Digitized by Google

si fa uso, invece, di quelle in cui una gran parte della superficie riscaldante consiste in tubi, racchiusi in involucri cilindrici o prismatici.

87. Le caldaje tubolari orizzontali si adoperano nelle locomotive e nelle macchine portatili; consistono in un involucro cilindrico, unito ad un' estremità ad un fornello rettangolare formato di pareti doppie cucite insieme da corti tiranti; all'altra estremità dell'involucro è fermata una cassa alla quale si unisce la canna fumaria. Fra la parete posteriore della caldaja e quella di contro del fornello, son situati i tubi, che formano perciò una comunicazione fra 'l fornello e il fumajuolo, e sono percorsi da' gas caldi e immersi nell'acqua. Per essere la combustione nel fornello più o meno incompleta, i tubi tendono a cuoprirsi, internamente, di filiggine, che conduce assai male il calore; è necessario per conseguenza che la parete posteriore della caldaja sia munita di largo sportello, a fine di poter pulizzare i tubi per mezzo di spazzole.

88. Si adopera pure, per le macchine portatili, una caldaja tubolare verticale: in essa il fornello è anch'egli cilindrico ed è costituito dalla parte inferiore dell'involucro. In questa caldaja può avvenire un accumulamento di fango sulla volta del fornello, e può accadere pure in quella orizzontale; sì che nè l'una nè l'altra è da scegliersi se non per quelle situazioni in cui l'acqua sia ben priva di sostanze terrose. I tubi delle caldaje si logorano più presto delle altre parti, e quindi sono fissati in modo da potersi agevolmente togliere e rinnovare. Siccome i tubi si riscaldano più dell'involucro, specie quando sono incrostati, dovrebbe lasciarsi libera di espandersi una estremità; ma più sovente non è, e tal vizio costruttivo cagiona gravi difficoltà nella manutenzione.

89. Nelle caldaje descritte, l'acqua vien contenuta nell'involucro esterno, e i tubi vi s'immergono e sono percorsi dai gas caldi. Field introdusse una caldaja tubolare in cui i tubi contengono l' acqua da evaporarsi, e sono spazzati esternamente da' prodotti della combustione: la forma è quella della caldaja verticale descritta sopra, ma il fornello si eleva assai più nell'involucro, e i tubi sono fermati da una estremità so-

Digitized by Google

lamente nella volta di esso, e sono pènsili sopra il fuoco e chlusi di sotto. Sulla volta medesima è unito il fumajuolo, e ad impedire il passaggio diretto de' gas è interposto fra quello e la graticola un cilindro di creta refrattaria che costringe i gas a percorrere lo spazlo d'intorno a' tubi. Ma la spezialità di questa caldaja consiste ln ciò che dentro di ogni tubo pènsile ne è introdotto un altro, aperto alle due estremità, e il cui scopo è di promuovere una rapida circolazion d'acqua dentro i tubi; e avviene tale circolazione per la maggiore leggerezza dello strato di acqua contenuto nello spazio fra i due tubi. L'esperienza ha mostrato che questa circolazione impedisce efficacemente l' accumularsi di fango dentro i tubi, e lo manda invece alle parti quiete della caldaja, cioè sotto il livello della graticola.

90. Per le caldaje marine non possonsi adoperare fornelli di fabbrica, e occorre che le pareti lambite dalla fiamma sieno coperte di acqua per ovviare il pericolo d'incendio. E condizione importantissima è pure la leggerezza, e che sia occupato poco spazio; le tubolari adempiscono meglio che ogni altra sorta di caldaja a questa condizione, e si adoperano quasi sempre; solo in qualche piroscafo, quasi come eccezione, si trovano le caldaje a gallerie, costruite di lamiere.

91. E consistono queste ultime in una cassa rettangolare di lamiere, che racchiude varj fornelli posti in comunicazione col fumajuolo per mezzo di camini prismatici formati anch' essi di lamine e che s'aggirano in varie guise dentro lo spazio dell' acqua. Queste caldaje riescono assai pesanti per essere costruite del tutto di lamiere, e perchè le superficie riscaldanti sono poco efficaci, essendo in massima parte verticali e non bene spazzate da' gas caldi. Ancorchè la tensione di vapore adoperata con queste caldaje sia bassissima, pure si trova conveniente rinforzare le pareti plane per via di tiranti.

92. Sono preferite in oggi, come si disse, le caldaje tubolari, poichè riescono più leggiere e più compatte. La loro forma esterna suol essere rettangolare, a fine di adattarsi meglio allo spazio disponibile nel piroscafo; dentro l'involu-

cro esterno sono praticati varj fornelli, come quei della caldaja a gallerie, e vanno a sboccare posteriormente in una cassa, detta della fiamma, e che s' innalza assai sopra dei fornelli; nel davanti della caldaja àvvi una seconda cassa, detta del fumo, e fra le pareti di contro di queste casse si stendono i tubi; la cassa del fumo è sormontata dal fumajuolo, e quindi una continua corrente percorre i fornelli, la cassa della fiamma, i tubi, la cassa del fumo e finalmente il fumajuolo medesimo; la gola di questo s'immerge nel vapore ed opera quindi un qualche soprariscaldamento. La parete anteriore della cassa del fumo consiste in sportelli che possonsi aprire per pulizzaro l' interno de' tubi. L' involucro è munito anch' esso di molti sportelli a fine di poter togliere in qualche maniera la gruma che si attacca alle superficie riscaldanti; ed uno di essi è grande tanto da permettere che vi entri un uomo, e ciò importa assai, tanto pel pulizzamento quanto per le riparazioni e perchè il macchinisla possa di tempo in tempo avere piena conoscenza dello stato della caldaja. Le pareti piane sono rinforzate da tiranti che legano insieme i fianchi opposti; e questi tiranti rendono difficile assai il mantener netta la caldaja, poichè ingombrano tutto lo spazio. In alcuni casi si dà forma cilindrica all'involucro, e così si possono evitare in qualche modo i tiranti; ma si occupa maggiore spazio; per altro l'inconveniente principale de' tiranti si è l'ostacolo che offrono al pulizzamento, e siccome per le pressioni elevate è forza adoperare i condensatori a superficie, che tolgono, quasi, la necessità di pulire la caldaja, si rende poco importante la sostituzione delle forme cilindriche alle prismatiche.

93. Le caldaje si costruiscono quasi sempre di lamiere di ferro, connesse fortemente insieme mediante chiodi ribaditi e strisce piane o angolari; i chiodi si ribadiscono roventi, e il loro restringersi pel raffreddamento tira con grandissima forza l'un sopra l'altro i due lembi. E a rendere ben stagne queste unioni si ammaccano alcun poco gli orli con un cesello; la ruggine formata nel mezzo della commettitura riempisce le piccole fessure e vieta ogni passaggio all'acqua o al vapore. Le lamiere di ferro adoperate per le costruzioni in

Digitized by Google

discorso sogliono essere grosse circa un centimetro; ma nelle caldaje marine moderne si adoperano spessezze maggiori a cagione delle tensioni sempre più forti che si vanno introducendo. Si è tentato di far uso di lamiere di acciaro, col fine di avere maggior leggerezza a parità di resistenza; ma fin ora non si adoperano, salvo alcuni casi di esperimento.

94. Accessorio importantissimo di ogni caldaja è la valvola di sicurezza; consiste in un disco sovrapposto a un orifizio, e mantenuto in luogo da pesi o da una molla; ne viene, che fatta la pressione più forte della spinta che tiene in posto la valvola, questa si solleva alquanto e lascia sfuggire il vapore, per chiudere nuovamente appena minorata la pressione. E tale artifizio rende impossibile che la tensione del vapore s'innalzi al di là d'un certo limite. Nelle caldaje da terra. il peso suole operare sulla tavola per mezzo d'una leva che ne accresce l'effetto; nelle locomotive e nelle macchine portatili si adopera più spesso una molla; e nelle caldaje marine si suol mettere il peso direttamente sulla valvola. Per queste ultime caldaje la valvola vuol essere munita di mezzi atti a sollevarla artificialmente, per lasciar scappare il vapore prontamente nell'arrivo in porto ecc., e s'intende che tali mezzi, nel mentre rendano agevole il sollevar la valvola a mano, la devono lasciare affatto libera di sollevarsi per la pressione del vapore.

95. Riesce utile dare al vapore un certo eccesso di temperatura, soprariscaldarlo, a fine di renderlo men pronto a condensarsi ne' tubi e nel cilindro; e in molti piroscafi moderni. oltre alla gola della canna fumaria che tende a questo effetto, si adoperano ingegni speciali detti soprariscaldatori, e consistono in gruppi di tubi disposti nella base del fumajuolo e percorsi dal vapore nel suo passaggio dalla caldaja alle macchine; il grado del soprariscaldamento si regola mediante valvole che fan passare tutto o parte del vapore per i tubi riscaldati. Tuttavia non è facile tenere ne' giusti limiti la temperatura, tanto più che non si ha un pirometro che la indichi in maniera assai visibile. Essendo l'acqua nelle caldaje marine più calda del vapore prodotto, per la presenza de' sali, ognuno si aspetterebbe trovarvi il vapore so-

Digitized by Google

prariscaldato per tale cagione. Ma l'esperienza prova che non è: il calore si rifiuta di passare dall'acqua più calda al vapore più freddo.

96. Diccsi valvola d' emissione quella che permette o interrompe il passaggio del vapore dalla caldaja alla macchina; la sua forma è a un dipresso simile a quella della valvola di sicurezza, se non che si allontana o si avvicina all'orifizio mediante una vite tagliata sull' asta. Qualunque siasi la situazione della valvola d' emissione giova che il tubo, mediante il quale essa riceve il vapore, parta dal cielo della caldaja, perchè il vapore venga più asciutto e perchè sia impedito l' accumularsi di vapore soprariscaldato nella volta della caldaja. Quasi sempre nelle caldaje marine, e spesso in quelle da terra, èvvi un recipiente in cui si raccoglie il vapore; ma sembra che ad impedire il sollevarsi dell'acqua bollente in verso l'orifizio d'uscita giovi meglio adoperare un tubo bucherellato che prenda il vapore da tutto lo spazio sull'acqua.

97. A fine di poter regolare la quantità di acqua mandata alla caldaja, occorre conoscere il livello dentro la caldaja stessa. E sono in uso varj ingegni per ciò combinati. Il più sovente si adopera un tubo verticale di vetro, unito alla caldaja ad ambo le estremità, per modo che l'acqua si dispone in esso alla medesima altezza che nella caldaja, e vi si vede per la trasparenza del vetro. Questo tubo va sempre unito a due o tre robinetti, detti di prova, mediante i quali si può conoscere approssimativamente il livello, in caso di rottura o ingombro del tubo. In alcune caldaje da terra si adopera pure un galleggiante unito ad una sottile asta che esce per una scatoletta a trecce nella volta della caldaja, e che si lega ad un bilanciere, o ad una puleggia, che porta un contrappeso dall'altro lato; e si desume l'altezza dell'acqua dalla posizione angolare del bilanciere o della puleggia. Nell'indicatore magnetico l'asta del galleggiante scorre dentro un tubo di ottone, ed è munita alla estremità di un cubicino di ferro; un cilindretto di acciaro calamitato volve sulla parete piana del tubo d'ottone, e si mantiene, per l'attrazione, sempre dirimpetto al cubicino di ferro; sì che dalla positura

della calamita si arguisce quella dell'asta, e quindi il livello dell'acqua. In alcune forme di caldaje, l'abbassarsi tropp'oltre del livello potrebbe portare a conseguenze gravissime, e quindi si adoperano talvolta certi ingegni che dànno avviso di tale eccessivo abbassarsi del livello, mediante un fischio o altro.

98. Con l'intento medesimo si usano i tappi fusibili, che consistono in certi tappi che chiudono un orifizio praticato nella volta del fornello, che tengon saldi alle regolari temperature, ma che si fondono appena sorpassate queste e lasciano uscire dalla caldaja una corrente di vapore e di acqua, che spegne il fuoco e dà avviso dell'accaduto.

99. I robinetti da schiuma servono a lasciar effluire dalla caldaja la schiuma terrosa che si accumula alla superficie per l'ebollizione; e quelli d'estrazione a permettere l'uscita del salino, sia continuamente, sia ad intervalli.

100. L'acqua d'alimentazione si fa penetrare nella parte più fredda della caldaja a fine d'evitare lo scontro di acqua più fredda con acqua più calda. Si suol mettere sulla caldaja una valvola, che mentre permette l'entrata dell'acqua, ne impedisce l'uscita verso la tromba.

101. Siccome le caldaje de' piroscafi devono spesso operare senza che si muova la macchina, è necessario un qualche mezzo di alimentarli indipendentemente della macchina; e suol farsi per mezzo di una macchinetta ausiliare che muove una tromba alimentatrice ordinaria. Talvolta è munita di una piccola caldaja per sè, ma più spesso opera col vapore delle caldaje principali. E riesce utilissima pel piroscafo, essendo che può applicarsi a varj usi.

102. Le caldaje di quelle macchine marine che non sono munite di condensatori a superficie, sono alimentate di acqua del mare. Questa contiene in sè una certa quantità di sal marino ed altri sali, e siccome il vapore prodotto ne è privo quasi del tutto, ne consèguita che questi sali si accumulerebbero dentro la caldaja qualora ciò non s'impedisse con un qualche mezzo. E il mezzo che si pratica è questo : si lascia assumere all'aequa nella caldaja una concentrazione maggiore di quella ordinaria del mare, in guisa che con-

Digitized by Google

tenga, a parità di volume, maggior copia di sale; allora lasciando effluire dalla caldaja una certa parte dell'acqua introdotta per l' alimentazione, essendo l' acqua nella caldaja più ricca di sale che non quella introdotta, si ottiene che la concentrazione rimane costante; così se l'acqua nella caldaja contenga 4 volte più sale di quanto ne contiene l'acqua del mare, lasciando effluire dalla caldaja $\frac{1}{4}$ dell'acqua introdotta, la concentrazione rimarrà costante, poichè in tal guisa àvvi eguaglianza fra il sale introdotto e quello espulso. Il calcolo dimostra che la perdita di calore conseguente a questo efflusso di acqua bollente dalla caldaja (lo dicono estrazione del salino), è circa un ventesimo dell'intera quantità di calore adoperata.

103. Oltre al sal marino, l'acqua del mare contiene altri sali e sostanze terrose, i quali comecchè in quantità relativamente piccola, riescono dannosissimi per la gruma cristallina che formano sulle pareti che sviluppano vapore. Questa gruma vien formata da corpi disciolti nell'acqua, essendo che da quelli sospesi meccanicamente non potrebbe costituirsi una vera struttura cristallina. E si attacca fortemente alle superficie sviluppanti vapore; mentre quei corpi che vengon deposte pel solo calore, formano una incrostazione fangosa che va ad accumularsi nelle parti comparativamente quiete dello spazio nella caldaja; ed è assai men nociva, potendosi rimuovere con facilità. L' unico rimedio efficace a questo inconveniente della incrostazione consiste ne' condensatori a superficie, che rimandano alla caldaja sempre la medesima acqua.

104. Le caldaje spesso si deteriorano assai presto; e le principali cagioni ne sono: l'arruginirsi dell' esterno; il soverchio riscaldamento per effetto della gruma che impedisce il passaggio del calore; la corrosione del vapore assai sopriscaldato; e l'indebolirsi delle lamiere per un certo strapazzo molecolare dovuto all'espansione ineguale ed all'operare troppo a lungo della caldaja. L'arruginirsi delle lamiere può venire impedito mantenendo bene asciutta la caldaja in ogni punto. Il riscaldamento eccessivo per la gruma non può impedirsi altrimenti che mantenendo quanto più possibile

Digitized by Google

nette le superficie interne, cosa difficilissima con le caldaje tubolari. Cavando il vapore dal punto più alto della caldaja si evita, nelle circostanze ordinarie, il soverchio soprariscaldamento del vapore e la conseguente corrosione. Quanto all'ultima delle accennate cagioni di guasto, spesso il vizio deriva da cattivo disegno anzichè da difetti nella manutenzione; pur non di meno è necessario che il macchinista esamini con ogni cura la caldaja, per quanto sia a conoscenza dell'indebolimento, ove ciò avvenga.

105. I tremendi fenomeni detti esplosioni possono dividersi in due classi distinte, essendo che talora accadono per semplice deficienza di forza resistente ovvero per aumento graduale della pressione, e presentano allora le caratteristiche di una semplice rottura; ma tal altra avvengono con violenza così estrema da doversi attribuire a forze subitanee e assai più intense di quelle operanti per ordinario, sì che invece di seguire la semplice rottura di un punto debole, avviene la totale rovina di ogni cosa; la prima maniera sarebbe da dirsi scoppio, ed esplosione solamente l'altra. Lo scoppio può esser cagionato, o da eccesso di pressione, o dall'indebolirsi della caldaja; l'eccesso della pressione può accadere unicamente per difetti nella valvola di sicurezza, o per esser questa per ignoranza, o peggio, caricata in modo eccessivo. L'indebolirsi della caldaja può seguire in varie maniere, alcune che dipendono direttamente da chi maneggia la caldaja, altre che ne sono indipendenti; pure ogni caso di scoppio sembra potersi attribuire a colpa del macchinista, poichè se alcune delle cagioni d'indebolimento sfuggono ai mezzi ch'egli possiede di porvi riparo, ciò non toglie che debba essere a completa conoscenza del loro progresso, in modo che possa discontinuare l'uso della caldaja prima che il suo stato divenga pericoloso. Quanto alle vere esplosioni, invece, sembra sventuratamente che sia del tutto vana ogni precauzione: poichè avvengono mentre ogni cosa è disposta in maniera regolare, e per cagioni che ci sono affatto ignote. Delle varie ipotesi state proposte per spiegare questi terribili fenomeni, nessuna pare che sia del tutto soddisfacente; e le sole conclusioni di pratica utilità che noi ne possiamo

Digitized by Google

trarre sono queste: essere pericoloso soprariscaldar molto il vapore dentro la caldaja medesima; essere d'importanza mantener pulite le superficie riscaldanti; e non doversi per niun conto aprir di botto la valvola d'emissione o di sicurezza, ma invece gradatamente; specie quando la macchina è stata qualche tempo in riposo.

Digitized by Google

PARTE V.

I Condensatori.

LEZIONE XXII.

106. Scopo del Condensatore.—107. Teorica del Condensatore.—108. Varie sorta di Trombe ad Aria. — 109. Appartenenze del Condensatore. — 110. Condensatore a Superficie.

APPENDICE: — Compendio della Lezione sui Condensatori.

106. *Scopo del Condensatore.*— Abbiamo già veduto in maniera generale (§ 45, § 46) quale sia la maniera d'operare e il meccanismo del condensatore di Watt; nel caso delle tensioni assai basse di cui si serviva quel grande uomo, si comprende sùbito l'importanza dell'organo in discorso, poichè si scorge che senza diminuire artificialmente la pressione del vapore dall'altro lato dello stantuffo, quella della caldaja non sarebbe capace di muovere la macchina. Ma come va che un atto negativo, un annichilamento di pressione, possa dare un vero lavoro meccanico? Aggiungendo un condensatore ad una macchina qualunque, noi non apportiamo differenza alcuna nel vapore che spinge innanzi lo stantuffo, non facciamo se non operare sul vapore già espulso dal cilindro, e che ha già lavorato; d'onde l'aumento di forza?

Tanto in una macchina a condensazione quanto in una senza condensazione, il lavoro realmente svolto dal vapore nel cilindro è il medesimo, dato che le circostanze di pressione sullo stantuffo dal lato della caldaja sieno

eguali; non importa niente affatto cosa divenga del vapore e qual sia la sua pressione una volta scappato via dal cilindro. Ciò quanto al lavoro realmente fatto dal fluido operante sullo stantuffo; ma se guardiamo a quello che la macchina può dar fuori, dovremo considerare altre circostanze: il lavoro svolto dal vapore non opera il solo movimento degli organi meccanici della macchina, ma sibbene ancora lo spostamento del fluido che trovasi dall'altro lato dello stantuffo; e se noi facciamo in modo che la pressione sia eguale sopra i due lati dello stantuffo, non minoreremo per nulla il lavoro svolto dal vapore, pur che la macchina si muova, ma nel tempo medesimo ridurremo a zero l'effetto utile, imperocchè tutto il lavoro sarà impiegato nello spostamento del fluido dal cilindro, e nulla rimarrà di eccesso. In una macchina senza condensazione, una parte del lavoro dato fuori dal vapore nel cilindro, vien spesa nel comprimere l'aria atmosferica, ciò che costituisce un vero lavoro, rappresentato in ogni colpo di stantuffo dall'area di questo, moltiplicata per la pressione del vapore effluente, moltiplicata per lo spazio percorso in ogni colpo. E tal quantità di lavoro va sottratto evidentemente a quello svolto dal vapore, sì che l'effetto trasmesso agli organi meccanici sarà solo la differenza tra il lavoro svolto dal vapore, e quello speso nel cacciare nell'atmosfera il medesimo vapore scaricato; e quando noi facciamo che la pressione sia eguale da un lato e dall'altro, ne viene che l'effetto trasmesso alla macchina è zero, appunto perchè tutto il lavoro svolto vien consumato nel cacciar via il vapore. Aggiungendo un condensatore facciamo che il fluido si scarichi in uno spazio nel quale la pressione è più piccola di quella atmosferica; e ne consèguita che il lavoro speso nel cacciar via il vapore dal cilindro sarà più piccolo anch'egli; di modo che il lavoro trasmesso agli organi meccanici sarà proporzionatamente accresciuto. Quando noi aggiungiamo, dunque, un condensatore a una mac-

Digitized by Google

china, non aumentiamo per nulla il lavoro generato dal vapore, sibbene diminuiamo il lavoro speso dal vapore medesimo nel cacciar via il fluido scaricato; e ne viene un aumento di forza utile, appunto per tale diminuzione di resistenza.

Possiamo dire perciò che lo scopo principale del condensatore si è: diminuire il lavoro speso dalla macchina nell'espulsione del fluido scaricato. Ma a mezzo del condensatore possiam pure ottenere un vero aumento nel lavoro reso dal fluido nel cilindro, poichè possiamo spingere assai più oltre l'espansione, come si vedrà quando diremo della misurazione del lavoro reso dalle macchine.

107. *Teorica del Condensatore.*—Sappiamo che la tensione del vapore è strettamente collegata alla sua temperatura (§ 14, § 15), di guisa che portando la temperatura a un dato grado, sappiamo che la tensione deve essere necessariamente quella rispondente a tal grado. E siccome la tensione scema col scemare della temperatura, raffreddando il vapore contenuto in un recipiente, la tensione di quel vapore diminuisce; sì che posto questo primo in comunicazione con un altro recipiente che contenga vapore di temperatura più alta, si formerà una corrente in verso il vaso più freddo, e continuerà fino a che la tensione in ambidue i vasi non sia caduta a quella rispondente alla temperatura più bassa (§ 17, § 45, pag. 96).

Sopra tale principio è basata l'operazione de' condensatori; e il raffreddamento vien praticato quasi sempre per mezzo di acqua della temperatura ordinaria dell'atmosfera, sia mischiandola a dirittura col vapore, sia avvicinando i due corpi a mezzo di tubi percorsi dall'uno e circondati dall'altro. È evidente che quanto più freddo sia il fluido dentro del condensatore, tanto più bassa sarà la sua pressione, e tanto più efficace sarà l'opera del vapore nel cilindro; ma le circostanze naturali ordinarie pongono un limite al raffreddamento: siccome questo raffreddamento si ottiene per mezzo dell'acqua di tempera-

tura atmosferica, o poco meno, così è chiaro che la temperatura risultante dal miscuglio dev'essere intermedia fra questa e quella del vapore scaricantesi; e sarà tanto più prossima a quella dell'acqua, quanto più grande sarà la relativa mole di questa. Ma adoperarne una grandissima quantità non sarebbe conveniente, poichè si ha da tirar fuori dal condensatore, oppure si ha da spingere per i tubi, e in ogni modo col lavoro della macchina; e col condensatore ordinario ci vorrebbe una tromba ad aria eccessivamente grande. Sarebbe assai difficile stabilire per vie teoretiche la migliore temperatura del condensatore, ma si trova in pratica che conviene mantenerla a circa 50°; e con questa temperatura si ha una tensione variante fra 100 e 160 millimetri di mercurio, più spesso questa ultima; la differenza dipende dalla perfezione più o men grande delle giunture, dalle proporzioni più o men buone ecc. E infatti consultando le tavole (pag. 34), troviamo che la tensione del vapore a 50° è circa 92 millimetri; dimodochè in ogni caso in cui con la medesima temperatura si osserva una tensione più forte, questa deve necessariamente venire, o dalla presenza di aria penetrata per le giunture, o dal non essere l'acqua ben frammischiata col vapore, o da insufficienza della tromba ad aria.

Conosciuta la temperatura a cui si ha da portare il fluido misto nel condensatore, e quella dell'acqua disponibile per operare la condensazione, è facile computare la quantità di acqua necessaria: dicemmo (§ 27) che per gli usi della pratica, e per le tensioni consuete, si può assumere che il calore ceduto nella condensazione del vapore sia costante per tutte le tensioni, e rappresentato da 637 calorie per ogni chilogramma, supposto che la temperatura sia portata allo zero. Siccome noi vogliamo che la temperatura sia 50°, così il calore ceduto da ogni chilogramma di vapore nel condensarsi sarà : $637 - 50 = 587$ calorie. Dall'altra parte abbiamo

l'acqua, vogliamo dire a 15°; e nell'atto di condensare il vapore si riscalda fino a 50°; ogni chilogramma di acqua piglia dunque in sè: $50 - 15 = 35$ calorie di calore. E per conseguenza a condensare un chilogramma di vapore ci vorranno: $\frac{587}{35} = 16,^{ch}77$ di acqua, poichè ogni chilogramma si toglie 35 calorie, e il chilogramma di vapore ne cede 587 nel ridursi in acqua a 50°. Infatti dentrò del condensatore ci avremo:

ch. 1,00 di vapore	. . a 637°	= calorie	637,00
» 16,77 di acqua	. . a 15°	= »	251,55
In tutto 17,77 di acqua risultante	a x^0	= calorie	888,55

sì che la temperatura x^0 di tale acqua risultante sarà:

$$\frac{888,55}{17,77} = 50^0 \ (1).$$

In pratica troviamo che la quantità di acqua adoperata, pesa circa 20 volte più del vapore, e l'eccesso serve a compensare la mancanza di perfetta comunicazione di calore fra' due corpi, essendo difficilissimo portarli in contatto proprio completo e abbastanza prolungato.

Dicemmo che ne' condensatori ordinarj, in cui l'acqua viene injettata in mezzo del vapore, e quindi nello spazio parzialmente vuoto, occorre una certa quantità di lavoro a tirar fuora l'acqua medesima: e difatti si ha da

(1) In questo còmputo abbiam supposto costante il calore specifico dell'acqua; infatti la differenza, nei limiti nostri di temperatura, sarebbe inapprezzabile. E nemmeno abbiam tenuto conto della piccola quantità di vapore che rimane non condensato sotto la pressione rispondente a' 50°; e in vero in una operazione continua sarebbe ridotta praticamente a zero, e una volta pieno lo spazio del condensatore le cose si passerebbero come noi abbiamo supposto.

cavare questa da uno spazio in cui èvvi piccola tensione, e si ha da condurre dentro l'atmosfera esterna; ciò significa che hassi a superare la differenza fra la pressione atmosferica e quella del condensatore, per un volume eguale a quello dell' acqua da estrarsi. Ciò sarà chiaro dalla seguente considerazione : se nel condensatore non vi fosse acqua, lo stantuffo della tromba ad aria nel salire sarebbe spinto da sotto dalla pressione del condensatore, vogliamo dire $1/4$ di atmosfera, da sopra da quella atmosferica: avrebbe perciò una resistenza eguale a $3/4$ di atmosfera per tutta la gita; nel ritornare giù avrebbe la medesima differenza di pressione, e tale differenza persistendo pure per tutta la gita, sarebbe data allo stantuffo dall'atmosfera forza eguale a quella toltagli nel salire; non così quando vien tirata fuori acqua : la salita dello stantuffo in questo secondo caso sarebbe in condizioni identiche alle prime, ma la discesa no, poichè quando lo stantuffo nel ritornare incontra l'acqua, questa piglia sùbito la pressione dell'atmosfera ed equipara perciò le spinte; sì che si perde, per la porzione susseguente del cammino, la potenza dell'atmosfera, che quando non c'era l'acqua spingeva giù lo stantuffo per tutta la gita. E ciò che diciamo per l'acqua val pure per l'aria.

Con i condensatori a secco o a superficie (§ 110) si evita in gran parte tale consumo di lavoro, poichè si deve togliere dal condensatore solamente l' acqua che risulta dalla condensazione del vapore e che non è più di $1/20$ di quella necessaria al raffreddamento. D'altra parte si ha da spinger questa ultima per i tubi, e in quantità ancor maggiore per non esser così intimo il contatto; tuttavia la pressione occorrente è senza paragone più piccola di quella che bisogna superare nella tromba ad aria, e quindi è più piccola pure la quantità del lavoro speso.

108. *Varie sorta di Trombe ad Aria.*— La forma del condensatore ordinario influisce pochissimo sulla sua operazione: basta che vi sia un certo spazio in cui possa

espandersi il vapore, ed incontrare lo zampillo ben diviso a fine di presentare un'estesa superficie. E in vero troviamo nella pratica condensatori di ogni forma, dipendente per lo più dal disegno della macchina, dalla natura dello spazio da occuparsi ecc.; noi ci limiteremo perciò a descrivere le principali trombe ad aria, come quelle che costituiscono la parte più importante, e la sola essenzialmente variabile, del congegno di condensazione.

Le trombe ad aria possonsi dividere in due classi: quelle a semplice effetto, che tiran fuori l'acqua e l'aria solamente quando lo stantuffo si muove in un dato verso; e quelle a doppio effetto, in cui lo stantuffo opera d'ambo i lati. Nella macchina da tromba di Watt (§ 46) abbiamo un esempio di tromba ad aria a semplice effetto: quando lo stantuffo sale (vedasi la fig. 29), esso lascia uno spazio vuoto sotto di sè, e il vapore e l'aria esistenti in *p* spingono l'acqua ad aprire la valvola, ed a penetrare dentro la tromba *s;* nel mentre, l'acqua che si trova sopra lo stantuffo della tromba stessa viene scaricata pel tubo laterale. Quando poi lo stantuffo discende, la valvola intermedia si chiude, e compresso il fluido nel sotto della tromba fino ad attingere la pressione atmosferica, si aprono le valvole dello stantuffo, e prima l'aria e poi l'acqua passano alla parte superiore della tromba, per essere versate fuori nella salita susseguente. In questo condensatore di Watt erano adoperate valvole di bronzo a cerniera; e andavano benissimo per le macchine da tromba, ed altre in cui le alternazioni del moto erano poco rapide; ma tali valvole applicate nelle macchine moventisi con alquanta celerità, presentano gravi inconvenienti, specie quando sieno di notevoli dimensioni: l'urto, sulle facce nel chiudere, e sul freno nell'aprire, le guasta ben presto; oltre di che comunica una scossa a tutta la macchina; in un piroscafo le cui trombe ad aria eran munite di valvole a coperchio di bronzo, io ho osservato sentirsi per tutto il bastimento la percossa delle valvole

chiudenti. Ed uno de' più importanti immegliamenti meccanici arrecati dopo Watt alle trombe ad aria, sta appunto nell'aver tolto le valvole metalliche, sostituendovi quelle di gomma elastica. Nella fig. 135 abbiamo lo spaccato di un condensatore munito di valvole di gomma elastica; la tromba ad aria è a stantuffo spostatore e a semplice effetto: il vapore viene dal cilindro per il tubo *a*, e si condensa nello spazio *ab* pel contatto dei numerosi zampilli che spicciano dal tubo d'injezione; la valvola *d*, la cui costruzione vedremo or ora, si apre dall'alto in basso, e l'altra *e* dal basso in alto; quando vien fuori lo stantuffo *c*, la pressione nella tromba diminuisce per l'aumento di volume, e rimanendo più forte quella nello spazio *ab*, l'acqua e l'aria e il vapore passan giù per la valvola *d*; quando lo stantuffo ritorna, la pressione de' fluidi nella tromba aumenta per la compressione, si chiude perciò la valvola *d*, e resa la pressione un po' più grande della atmosferica, si apre *e*, e i fluidi vengono spinti su nello spazio *f*, che costituisce il pozzo caldo, e si scaricano finalmente pel tubo *g*. La fig. 136 rappresenta la valvola *e* disegnata più in grande: la lastra quadrata di bronzo *abcd*, cuopre il passaggio che mette in comunicazione il pozzo caldo *f*, fig. 135, con la tromba, ed è fermata mediante pernj agli angoli; in essa sono praticate varie aperture radiali a foggia di stella, come *e*, *f*, ecc. (fig. 136), e queste aperture sono interamente coperte e chiuse da un grosso disco *gh*, di gomma elastica; questo è forato nel mezzo, e mantenuto a posto dal freno *i*, che ha forma di uno scodellino ed è fermato, mediante un perno a chiocciola, alla lastra di bronzo. Quando prepondera la pressione soprastante, il disco di gomma elastica tien chiuse le aperture, come nella nostra figura; ma se diventa più forte la pressione da sotto, il disco, non essendo sostenuto superiormente, s'incurva appoggiandosi allo scodellino, come si vede nelle linee punteggiate, e allora rimangono libere le aperture,

e i fluidi possono passare sopra. A fine di rendere più rapida la chiusura della valvola quando diminuisce nuovamente la pressione di sotto, lo scodellino è forato tutt'intorno, di guisa che l'acqua e 'l vapore possan spingere giù il disco più prontamente. L'altra valvola, *d* (fig. 135), è affatto simile a questa descritta, se non che è capovolta; si trova in pratica che queste valvole, ove non sia esagerata la loro grandezza, operano egualmente bene in tutte le posizioni; e infatti basta l'elasticità della gomma ad impedire che il disco s'incurvi pel proprio peso. È evidente che la flessibilità e la relativa morbidezza dell'unico pezzo mobile in questo congegno, deve rendere affatto privo di scosse l'aprirsi e il chiudersi della valvola; tanto che in oggi le valvole metalliche sono quasi del tutto abbandonate in favore delle elastiche, a meno che non si abbia da fare con fluidi caldissimi o sotto pressioni assai grandi. Si soglion dare varie forme alle valvole di gomma elastica, ma sembra preferibile quella circolare che abbiam descritto; e il suo diametro non dovrebbe essere di là de' 20 centimetri circa; volendosi un'area maggiore si possono adoperare in numero più o meno grande: si ha pure il vantaggio così di poter rinnovare più facilmente le valvole logorate, e per questo fine medesimo i condensatori sono sempre muniti di sportelli di contro alle valvole, come si vede nelle figure 135 e 137.

Nelle macchine marine da elica si adoperano spesso le trombe ad aria a doppio effetto, come quelle che occupano minore spazio a parità di potenza; nella fig. 137 ne vediamo un esempio: — Nella cassa rettangolare *abcd* è fermato il cilindro *ef*, il quale sbocca ad ambe le estremità negli spazj rettangolari che si vedono nella figura, e le cui pareti sono di un pezzo col rimanente della cassa; lo spazio *gh* è separato da tutto il resto, e comunica col cilindro per mezzo delle valvole in *g* e in *h*, che aprono dal basso in alto; dalla parte inferiore il ci-

lindro comunica con la cassa mediante le valvole in *i* ed in *l*, aprentisi anch'esse dal basso in alto; nel dietro si unisce alla cassa medesima il tubo *m*, che reca il vapore dalla macchina. Il robinetto *n* lascia penetrare l'acqua d'injezione, per mezzo di un tubo che percorre il condensatore per lo lungo e in cui son praticate numerose fessure tutt'intorno, in maniera che l'acqua sia ben divisa ed offra grande superficie. Nel cilindro scorre lo stantuffo massiccio *o* guernito di trecce di canape e munito di mezzi di compensazione (§ 62). L'operare di questa tromba ad aria è come segue: si supponga che lo stantuffo si muova secondo la freccia; lo spazio in *e* si aumenta, la tensione perciò vi diminuisce, le valvole in *g* si chiudono, e invece quelle in *i* si aprono per l'eccesso della pressione nel condensatore; avviene perciò un efflusso di aria, di vapore, e di acqua da questo al cilindro, come si vede dalle frecce. Nel mentre, dall'altro lato, *f*, avviene compressione, e quindi si chiudono le valvole in *l*, e fatta la pressione abbastanza forte si aprono quelle in *h*, e i fluidi passano nello spazio *gh*, che costituisce il pozzo caldo; da questo poi sono condotti fuori per il tubo *p*. Al ritorno dello stantuffo segue l'effetto medesimo, ma a' lati opposti: in *f* avviene efflusso dal condensatore; e in *e* avviene espulsione nel pozzo caldo per le valvole *g*. E si vede da ciò che tanto l'aspirazione, quanto il cacciar fuori de' fluidi, accade in ambe le gite dello stantuffo; sì che a parità di diametro si ottiene un effetto raddoppiato, e inoltre si ha un vuoto migliore, per la ragione che i fluidi son tirati fuori di continuo. Le valvole sono di gomma elastica, come quelle descritte sopra; e il più delle volte consistono in un gran numero di dischi piuttosto piccoli in diametro, a fine di rendere più agevole il rinnovamento.

109. *Appartenenze del Condensatore.* — Perchè si possa ben regolare la quantità di acqua injettata nel condensatore, e per conoscere se esso operi regolarmente,

giova annettervi un manometro che denoti la tensione che vi esiste. Se lo spazio non contenesse altro che vapore basterebbe conoscere la temperatura ad arguirne la tensione: ma sappiamo che nel condensatore vi è sempre una quantità più o meno grande di aria, perciò non si può desumere la tensione dalla temperatura, e quindi bisogna adoperare un manometro. Talvolta si adopera un tubo barometrico la cui cima si mette in comunicazione col condensatore : mentre questo non opera, essendovi nel tubo la pressione atmosferica come fuori nella vaschetta, il mercurio sta allo stesso livello dentro e fuori; ma cominciando ad operare la macchina, a misura che scema la tensione nel condensatore s'innalza il mercurio dentro il tubo, di maniera che il suo peso, aggiunto alla pressione nel condensatore, faccia equilibrio all'atmosfera esterna. Se la tensione de' fluidi nel condensatore cadesse a zero, divenisse nulla, la colonna mercuriale sarebbe d'altezza pari al barometro; e quindi, graduato lo strumento come un barometro ordinario si hanno gradi, per così dire, negativi; sì che 76 centimetri denotano 76 centimetri al di sotto dell'atmosfera, o —76; e questo modo di graduare i manometri pel condensatore è generale nell'uso, quantunque non sembri ragionevole : l'atmosfera non ha niente che fare con l'operar delle macchine a condensazione; per altro è facile tradurre questa maniera convenzionale di esprimere la forza elastica in quella vera, in guisa da avere la pressione effettiva; così 60 centimetri sul manometro denotano : $76 - 60 = 16$ centimetri; e via discorrendo. Siccome il tubo barometrico riesce incomodo per la sua lunghezza, lo si adopera poco in pratica; e invece si fa uso del *barometro tronco* e del manometro di Bourdon; abbiamo un esempio del primo in *h*, fig. 135: consiste in un tubo di vetro chiuso alla estremità superiore, pieno affatto di mercurio e capovolto in una vaschetta contenente il liquido medesimo, e che comunica al sopra col condensa-

tore, come si vede nella figura; quando la pressione nel condensatore, e quindi nella vaschetta, è eguale alla atmosferica, perchè il tubo è più corto assai del barometro essa pressione lo mantiene del tutto pieno; ma allorquando la pressione si rende minore di quanto risponde all'altezza del tubo, lo strumento comincia ad indicare, misurando con l'altezza della colonna sorretta la pressione de' fluidi dentro il condensatore. Essendo che tale pressione non dovrebbe mai esser maggiore di un quarto di atmosfera, così basta dare al tubo l'altezza di 25 o 30 centimetri; poichè sarebbero inutili le indicazioni delle forze elastiche superiori a queste.

Il manometro più comunemente adoperato pel condensatore è il così detto *indicatore del vuoto* di Bourdon, strumento simile nella sua costruzione al manometro del medesimo inventore (§ 9); se non che nel manometro, il tubo a molla si va svolgendo per essere la pressione interna maggiore della esterna, e nell'indicatore, invece, il tubo si avvolge per la preponderanza della pressione atmosferica; e siccome la pressione massima che può subire e che deve denotare è appunto quella atmosferica, così la molla è più cedevole, in guisa che per denotare una sola atmosfera la lancetta percorre quasi tutta la circonferenza della mostra. Quest'indicatore, come pure il barometro tronco, viene graduato in modo da mostrare di quanto la tensione de' fluidi nel condensatore sia minore della atmosferica; come si disse sopra per il barometro lungo.

Nelle macchine a bassa pressione la maggior parte della forza si ottiene in virtù del vuoto parziale mantenuto nel condensatore (§ 106), poichè la pressione del vapore nella caldaja non supera di molto quella atmosferica, e però verrebbe da questa in gran parte bilanciata. Per tale ragione è importante, nelle macchine a bassa pressione, avere un mezzo di formare il vuoto nel condensatore prima di dar movimento alla macchina, affinchè

Digitized by Google

questa si muova sùbito con la sua piena forza. E a tal fine bisogna scacciar l'aria dal condensatore: ciò potrebbe farsi muovendo la tromba ad aria, ma in una macchina di dimensioni notevoli ci vorrebbe forza assai maggiore di quella il più delle volte disponibile, e sarebbe sempre inconvenientissimo; per altro lo scopo si può conseguire in maniera assai semplice mediante la *valvola d'espurgo* : se ne vede un esempio in *q*, fig. 137; consiste in una valvola a coperchio, che apre dal condensatore all'atmosfera esterna; è circondata di un vasetto che si mantiene d'ordinario pieno di acqua, per impedire l'entrata d'aria nel condensatore per le imperfezioni della valvola; essa opera in questa maniera: volendo scacciare l'aria dal condensatore prima di dar moto alla macchina, si apre un robinetto che lascia penetrare dentro il condensatore una corrente di vapore dalla caldaja; siccome la pressione del vapore è superiore della atmosferica, la valvola d'espurgo si apre e lascia sfuggire l'aria, mista col vapore che va penetrando; dall'apparenza di questa corrente si può conoscere a un dipresso quando è espulsa tutta l'aria, poichè quando il vapore è mescolato con molta aria esso diventa opaco a guisa di nube densa, invece quand'è puro presenta trasparenza maggiore; ottenuta l'espulsione dell'aria s'interrompe la corrente di vapore dalla caldaja e si apre il robinetto d'injezione; appena diminuisce un poco la forza elastica pel raffreddamento, penetra l'acqua, si condensa il vapore, e lo spazio rimane vuoto; allora la macchina può cominciare ad operare, e il vuoto si mantiene nella maniera consueta. Si potrebbe espurgare il condensatore anche a mezzo delle valvole della tromba ad aria, poichè anch'esse aprono dal condensatore all'atmosfera esterna; ma per lo più, nelle macchine marine, sono gravate di una notevole colonna di acqua, essendo che il tubo di scarico, *p*, s'innalza fino a sopra il livello del mare, sì che ci vorrebbe una qualche pressione a vincerla; e poi giova

che tali valvole rimangano coperte di acqua perchè chiudano meglio.

110. *Condensatore a Superficie.*—Trattando della incrostazione (§ 103, pag. 280) dicemmo che l'unico mezzo d'impedire che essa avvenga si è di condensare il vapore a secco, cioè senza adoperare uno zampillo, ma solo pel contatto di superficie metalliche, in modo che possa ritornare alla caldaja la medesima acqua che ne esce in forma vaporosa, e quindi priva di sali; e con tale mezzo si evita pure, come si disse, l'estrazione del salino. Per le caldaje marine è d'immensa importanza il poter evitare l'incrostazione, specie per le forti pressioni, essendo che non vi è mezzo di pulire i tubi (§ 92), e la quantità e la durezza della gruma aumentano con l'aumento della pressione. E si ottiene pure un altro vantaggio coi condensatori a superficie : si disse (§ 107) che ad estrarre dallo spazio parzialmente vuoto, l'acqua risultante dal vapore che si condensa, e quella formante il zampillo, occorre una certa spesa di lavoro meccanico; or se noi operiamo la condensazione senza injettamento di acqua, avremo da estrarre solamente l'acqua risultante dal vapore condensato, la quale come si disse (§ 107) è appena $^1/_{20}$ di quella che forma il zampillo ne' condensatori ordinarj. Si ha dunque coi condensatori a superficie un certo risparmio di lavoro meccanico e quindi un aumento nell'effetto utile della macchina.

La disposizione di questi condensatori varia assai secondo le forma della macchina ecc., ma la fig. 138 può darne un'idea generale:— Fra le pareti di contro di una cassa rettangolare di ghisa, *abcd,* sono fermati numerosi tubi di rame o di ottone (sogliono avere il diametro di 20 a 25 millimetri), come *ac, bd,* ecc.; invece di essere rigidamente fissati nelle lastre, vi sono commessi mediante anelli di gomma elastica, per modo che ognuno è libero di espandersi o di restringersi indipendentemente degli altri; sul fuori delle pareti *ab, cd,* sono fermate a

Digitized by Google

mezzo di pernj e chiocciole le cassette poco profonde, *ef, gh,* e la prima comunica con la seconda per i tubi *ae,* ecc.; una tromba *i,* detta *circolante,* e mossa dalla macchina, aspira una corrente di acqua dal mare pel tubo *l,* e la manda alla cassa *f;* da questa, l'acqua percorrendo i tubi passa all'altra *h,* ritorna in *e* come mostrano le frecce, e finalmente va a scaricarsi nuovamente nel mare per il tubo *m.* Mercè la tromba circolante si mantiene così un continuato flusso di acqua del mare attraverso i tubi. Il vapore dai cilindri si scarica dentro la cassa *abcd* pel tubo *n*, ed incontrando le superficie de' tubi, mantenute fredde per la corrente di acqua, vi si condensa, e va sgocciolando sino al fondo della cassa; la tromba ad aria *o*, di consueta costruzione, tira fuori l'acqua risultante, e il poco vapore che rimane, come pure l'aria che ha potuto penetrare per le giunture del cilindro ecc. S'intende che quest'acqua medesima vien presa poi dalla tromba alimentatrice e mandata alla caldaja.

Le casse *ef, gh,* sono munite di coperchj amovibili, affinchè si possano pulire i tubi dalla gruma che vi si forma dentro, pel riscaldamento dell'acqua del mare nel condensare il vapore. Anche l'esterno de' tubi vuol essere sovente nettato, poichè le materie untuose somministrate al cilindro vanno ad accumularsi sopra i tubi, e tale rivestimento di untume impedisce il libero passaggio del calore. Il mezzo più efficace sembra essere l'injettamento di tempo in tempo di alquanta soluzione di soda sui tubi, insieme al vapore, di maniera che le sostanze grasse si saponifichino e si sciolgano nell'acqua. Per altro e' sembra che l'adoperar parcamente le sostanze untuose ne' cilindri sia condizione essenziale al buon andamento de' condensatori in discorso; e tali sostanze non solo nocciono all'operazione del condensatore, ma siccome passa alla caldaja sempre la medesima acqua, esse vanno ad accumularsi dentro la caldaja, e possono

esser causa di corrosione ed altri guasti della medesima. Si raccomanda pure da' pratici usare olio invece di sego, e appunto perchè non forma tanta copia di sostanza grumosa.

I condensatori a superficie furono adoperati nella navigazione a vapore da Hall, in Inghilterra, fin dal 1835, e il loro meccanismo era simile a quello de' condensatori che si usano in atto; pure, abbenchè diedero risultati eccellenti, furono abbandonati dopo pochi anni. La causa di ciò non si conosce con certezza, ma sembra probabile che sia stata la corrosione delle caldaje: si osserva anche in oggi che l'acqua distillata acquista una qualità altamente corrosiva, sia pel miscuglio con le sostanze grasse, o altro, e che per conseguenza apporta grave danno alle caldaje; tale fenomeno dovette naturalmente spaventare il Hall, che non conoscendovi rimedio abbandonò il sistema. Ne' piroscafi moderni vi si pone riparo in una maniera semplicissima: si fanno lavorare le caldaje da principio con l'acqua del mare, fino a che si forma sulle superficie una leggiera incrostazione, per modo che lavorando poi con l'acqua distillata, questa non venga in contatto diretto con le lamiere; e nel corso del lavoro s'injetta pure nel condensatore alquanta acqua del mare, sì che le pareti della caldaja rimangano ognora verniciate d'un sottile strato di gruma. In oltre, come dicemmo sopra, l'utilità principale dei condensatori a superficie, sta nell'evitare l'incrostamento per le alte tensioni; e a' tempi di Hall queste non si adoperavan mai sui piroscafi, sì che allora il bisogno di questi condensatori era men forte, c'era minore incitamento a superarne gli ostacoli. Oggi invece le pressioni elevate sono assai comuni, e quasi direi necessarie; poichè da esse sole puossi ottenere l'economia di combustibile che ogni giorno diviene più importante; sì che adesso i condensatori a superficie si adoperano in quasi tutti i piroscafi di moderna costruzione.

Digitized by Google

Nelle macchine da terra non si usano quasi mai; e infatti per queste la difficoltà dell'incrostazione è meno importante, essendo che si possono dare alle caldaje forme tali da rendere agevole il loro scrostamento; e abbenchè i condensatori a superficie sieno più efficaci degli ordinarj, pure sono meno semplici e costano di più.

Digitized by Google

APPENDICE ALLA LEZIONE XXII.

Compendio della Lezione sui Condensatori.

106. Il condensatore aggiunto ad una macchina non aumenta per nulla, direttamente, il lavoro svolto dal fluido; esso opera infatti sul vapore dopo che questo ha già lasciato il cilindro, e quindi non può influire in maniera alcuna sulla forza sviluppata nel cilindro medesimo. Ma se noi guardiamo il tutto insieme dell' operazione, ci sarà chiaro che il condensatore, pur lasciando qual era la forza svolta, aumenta l'effetto della macchina, aumenta il lavoro che essa può rendere utilmente: in una macchina a vapore qualsiasi, una parte del lavoro sviluppato dal fluido vien spesa nel cacciar fuori del cilindro il vapore che si scarica; nelle macchine senza condensazione hassi a superare la pressione atmosferica nell'espellere il vapore; invece, adoperando il condensatore, l'espulsione si opera più agevolmente ed assorbe minor quantità di lavoro, e quindi rimane disponibile una parte maggiore del lavoro svolto.

107. L'operazione del condensatore dipende dal fatto che tra la tensione e la temperatura del vapore àvvi un legame costante; e quindi se vogliamo che il vapore assuma una data tensione, ci basta portarlo per un mezzo qualunque alla corrispondente temperatura; il raffreddamento induce la condensazione appunto perchè il vapore non può esistere, sotto

una data pressione, altrimenti che alla relativa temperatura. Nei condensatori operiamo il raffreddamento per mezzo di acqua alla temperatura ordinaria dell'atmosfera, e che portiamo in contatto col vapore, sia per miscuglio, sia per l'interposizione di superficie metalliche; e avviene il riscaldamento dell'acqua e il raffreddamento del vapore, per modo che ne risulta una temperatura intermedia fra quella iniziale del vapore e quella iniziale dell'acqua.

108. Nel condensatoro penetra di continuo dal cilindro una corrente di vapore che vi si condensa quasi tutto; e nei condensatori ordinarj penetra pure l'acqua che serve appunto a tale condensazione; e vi penetra in oltre una certa quantità di aria, mista all'acqua e per l'imperfezione delle giunture; ad estrarre questi fluidi dal condensatore si adopera la tromba ad aria, che suol essere munita di valvole di gomma elastica per evitare gli urti dello valvole metalliche, e che può essere, o a semplice o a doppio effetto: nel primo caso aspira dal condensatore nella sola uscita dello stantuffo; nel secondo lo stantuffo aspira tanto nell' uscire che nel ritornare.

109. È buono annettere un manometro al condensatore, a fino di aver notizia dell'andamento della condensazione e poter ben regolare la quantità di acqua injettata. Se ne adoperano di varie sorta, e sogliono graduarsi in modo da indicare di quanto la tensione nel condensatore sia più bassa della atmosferica.

110. A fine di evitare l'incrostazione della caldaja si adoperano spesso in oggi pe' piroscafi, i condensatori a superficie, in cui il vapore vien condensato senza miscuglio di acqua, e che per conseguenza rendono possibile l' alimentazione della caldaja con quell'acqua medesima che ne esce in forma di vapore. Consistono in un sistema di tubi percorsi da una continua corrente di acqua del mare, spinta da apposita tromba, e tali tubi sono situati in una cassa nella quale vieno a scaricarsi il vapore; di maniera che questo incontrando le superficie fredde de' tubi si condensa e va colando, ridotto in acqua, al fondo della cassa; una tromba

ad aria tira fuori l'acqua risultante dalla condensazione e la somministra alla tromba alimentatrice, che a sua volta la manda alla caldaja. Così circola ognora la stessa acqua, e per conseguenza non può avvenire l'incrostazione.

Digitized by Google

PARTE VI.

Varj Sistemi di Macchine da Terra.

LEZIONE XXIII.

111. Macchina a Bilanciere. — 112. Macchine a Connessione Diretta. — 113. Macchina Verticale a Cilindro Ritto. — 114. Macchina Verticale a Cilindro Capovolto.—115. Macchine Orizzontali.—116. Macchine a Doppio Cilindro. — 117. Macchine Rotatorie.

APPENDICE : — Compendio della Lezione sui Varj Sistemi di Macchine da Terra.

I diversi pezzi che abbiamo descritto nelle lezioni precedenti, vengono riuniti e combinati in maniere svariatissime, per modo da formare innumerevoli sistemi di macchine, adatti a diversi usi ed aventi ognuno i suoi particolari vantaggi ed inconvenienti. Talvolta i varj organi vengono appoggiati ad apposito telajo, o armatura, o castello che dir si voglia, per lo più di ghisa; tal altra la base viene fornita dalla caldaja medesima; e quest'ultima maniera si adopera più spesso per le macchine locomobili o portatili. In ogni modo è chiaro che le varietà essendo solo nella forma, dico meglio, nella maniera di mettere insieme i varj organi, rimane sempre la stessa la funzione di ciascun pezzo, siasi qualsivoglia il sistema della macchina; e quindi ci basterà accennare in maniera generale le disposizioni che più spesso s'in-

Digitized by Google

contrano in pratica, tanto per dare un'idea del tutto insieme della macchina.

111. *Macchina a Bilanciere.* — La fig. 139 rappresenta la disposizione di una di queste macchine, costruita da Fairbairn: l'asta dello stantuffo viene guidata per mezzo del paralellogrammo di Watt, il quale quantunque si riconosca inferiore alle guide a superficie, si adopera sempre nelle macchine a bilanciere per una certa convenienza nel congegnamento, e forse pure per un cotal pregiudizio che fa parer migliori le forme già usitate. Il condensatore è situato nella base della macchina, come si vede nelle linee punteggiate, e la tromba ad aria vien mossa dal paralellogrammo (vedi pag. 119). Il pernio del bilanciere si appoggia a cuscinetti ordinarj (§ 68), sorretti dalla colonna vuota di ghisa che si erge nel mezzo della macchina; e il cavo di questa colonna medesima forma il pozzo caldo; e serve pure di sostegno al telajo che si vede sporgere in verso sinistra, e che fornisce il punto fermo al paralellogrammo. Talvolta, specie nelle macchine grandissime, i cuscinetti del pernio si fissano a un sistema di travi di ghisa, che si appoggia alle mura della stanza ov'è collocata la macchina. Il connettore suol essere di ghisa, e importa che sia pesante, a fine di equilibrare il peso dello stantuffo, delle aste ecc.

Questa sorta di macchina è poco adoperata oggidì, salvo alcuni casi speciali, poichè mentre presenta eccellenti pregi ha pure inconvenienti notevoli. I suoi pregi sono: durata lunghissima; e proviene dall'essere le parti benissimo appoggiate, dalla posizione verticale del cilindro, dal moto necessariamente poco veloce ecc.; grande solidità della fondazione, essendo il cilindro e l'albero bassi, e ben legati al massiccio di muratura, e ne consèguita potersi adoperare senza inconveniente un volano pesantissimo che renda ben regolare la rotazione. Dicemmo essere il moto necessariamente poco celere, e infatti si hanno pezzi assai

Digitized by Google

pesanti a' quali deve comunicarsi un moto di andivieni; l'inerzia di questi pezzi costituisce una resistenza imponente quando si vuol spingere al di là di certi limiti la rapidità delle alternazioni, tanto che le grandi macchine a bilanciere fanno di rado più che 20 o 25 giri al minuto; da questa lentezza del moto viene che le dimensioni della macchina si aumentano per una data quantità di lavoro da svilupparsi, di modo che queste macchine riescono poderose assai, e quindi di costo maggiore; e per la medesima cagione occupano grande spazio e esigono solide fondamenta. Per tanto sono adoperate solamente in quei casi ove sia desiderabile una lunga durata e grande sicurezza nell'andamento del meccanismo; e dove importa poco il costo primo e lo spazio occupato: per esempio nelle filande, negli stabilimenti per la distribuzione di acqua nelle città ecc.

112. *Macchine a Connessione Diretta.*—Ma in tutte quelle situazioni, e sono le più numerose, in cui si guarda meno alla permanenza estrema che al costo primo ed allo spazio occupato, si preferiscono le macchine a connessione diretta, nelle quali è tolto il bilanciere e vien legato il connettore direttamente all'asta dello stantuffo. E vengono varj vantaggi da simile disposizione: tolto il bilanciere si rende assai più leggiero il meccanismo trasmettitore, e quindi si rende capace di movimento ben più rapido; e tale rapidità medesima apporta ulteriore diminuzion di peso, poichè per una data forza sviluppata divengono meno possenti le forze che operano in ogni colpo dello stantuffo, infatti lo stesso cilindro diviene proporzionatamente più piccolo. Questa diminuzione nella mole della macchina significa minor costo, minore spazio occupato, maggiore facilità nella situazione; ed altri simili vantaggi; tanto che, come si disse, queste macchine sono le più generalmente adoperate, non ostante che sieno men durature di quelle a bilanciere. Le loro forme sono

svariatissime; noi daremo un cenno di quelle che s'incontrano più sovente in pratica.

113. *Macchina Verticale a Cilindro Ritto.*—In questa macchina l'albero è sostenuto da travi di ghisa appoggiate alle mura, come vedesi nella fig. 140; la guida suol essere ad E (§ 65, pag. 167), e le righe sono sorrette dalle due colonne metalliche che si vedono a' fianchi del cilindro; la tromba ad aria è mossa da una seconda manovella fatta sull'albero, ovvero da una leva che riceve movimento dal pezzo di guida; e in ogni modo il condensatore vien situato nella base della macchina. Questo sistema è buonissimo, ma esige una fabbrica assai solida, poichè essa regge il peso del volante; e perchè il meccanismo si appoggia essenzialmente all'edifizio murato, serve solamente per quei casi in cui la macchina ha da essere stabile.

114. *Macchina Verticale a Cilindro Capovolto.* — Più spesso si adoperano queste macchine, in cui l'albero, invece di essere appoggiato in alto, è disposto alla base, come mostra la fig. 141; e il cilindro è sorretto da un telajo di ghisa a foggia di A; nelle piccole macchine basta al cilindro l'appoggio di questo telajo, ma con dimensioni alquanto notevoli è necessario che sia mantenuto per mezzo di tiranti legati al muro. In ogni modo questo sistema non sembra adatto per le grandi macchine da terra, a cagione della posizione elevata del cilindro: è sempre buono avere il cilindro facilmente accessibile, sia per la lubricazione, sia per mantenere in ordine le scatole a trecce, ecc.; e non conviene che il macchinista deve salire una scala per accertarsi del buon andamento delle guide e dell'occhio superiore del connettore. Per tanto il sistema in parola val meglio in piccolo, e segnatamente per le macchine portatili; ne abbiamo un esempio nella fig. 142 : la caldaja è verticale tubolare (pag. 245), ed è fissata ad una cassa di ghisa

che serve pure di base a' cuscinetti dell'albero, ed alla trave verticale che sostiene il cilindro e la tromba alimentatrice; la guida è costituita da quest'ultima nel modo seguente: l'asta dello stantuffo si prolunga oltre del pezzo a croce su cui si articola il connettore, come nel caso della guida cilindrica (pag. 167), e questo prolungamento medesimo forma lo stantuffo della tromba, la quale è fissata alla trave di sostegno, e fa le veci dell'occhio di bronzo *e* della fig. 64, e in questa figura stessa *b* sarebbe lo stantuffo.

115. *Macchine Orizzontali.*— Quantunque la posizione verticale sia evidentemente la migliore pel cilindro, poichè in tal guisa lo stantuffo non ha tendenza a logorarlo irregolarmente, per essere in equilibrio, pure siccome la positura orizzontale offre vantaggi grandissimi, per la facile disposizione meccanica, pel collocamento ecc., così troviamo in pratica le macchine orizzontali più numerose di quelle di altro sistema qualsiasi. E le si trovano di forme assai diverse, e applicate a tutti gli usi. La fig. 143 rappresenta una macchina fissa ed a condensazione: il cilindro viene imperniato ad una base di ghisa, che alla sua volta è rigidamente fissata ad un masso di muratura; e tale base di ghisa sostiene pure il meccanismo di guida e 'l cuscinetto principale. Per lo più la manovella suol essere semplice (pag. 174), e l'altra estremità dell'albero è sostenuta da un cuscinetto posto in una cassa incastrata nel muro. L'asta dello stantuffo è prolungata verso la destra, ed esce dal cilindro circondata da apposita scatola a trecce; serve questo prolungamento a muovere la tromba ad aria, in questo caso a stantuffo spostatore, come quella descritta nel § 108. Talvolta il condensatore suol disporsi nella base, sotto il cilindro, ed allora la tromba ad aria vien mossa per mezzo di un braccio sporgente in giù dal pezzo di guida, o per mezzo di leve, ecc. Le guide che si adoperano più so-

vente per queste macchine sono, o di Maudslay (come quella del nostro disegno), o a croce, o composta (§ 65). Il cuscinetto suol essere obbliquo (pag. 178); e infatti il logoramento avviene per l'effetto composto della spinta dello stantuffo e del peso del volano. La tromba alimentatrice puossi animare dal pezzo di guida, ovvero dall'eccentrico della valvola distributrice, o da un eccentrico apposito.

Nella fig. 144 abbiamo una macchina orizzontale portatile; la caldaja è della specie tubolare orizzontale descritta a pag. 243, e come si vede forma da sè sola la base della macchina, essendo che tanto il cilindro, quanto l'ordegno di guida e i cuscinetti, son fermati su di essa. La guida della macchina disegnata è composta (pag. 167); e l'albero è fatto a gomito (pag. 175) a fine di potersi bene appoggiare sopra i due cuscinetti fermati alla caldaja, e non aver bisogno di altri appoggi; e in vero la macchina è affatto indipendente, e basta il peso proprio a farla rimanere ferma. Sull'estremità dell'albero si vede l'eccentrico che muove la tromba alimentatrice. Siccome queste macchine sono destinate agli usi per cui occorre che sieno trasportabili, così son sempre senza condensazione, ed operano con vapore alquanto forte.

Queste macchine medesime vengono spesso munite di ruote, in guisa da potersi trasportare facilmente, e allora prendono nome di locomobili.

116. *Macchine a Doppio Cilindro.*—Abbiamo veduto (§ 47) che in virtù del principio dell'espansione si può ottenere un maggiore effetto utile, adoperando una pressione più forte di quella necessaria a superare la resistenza, e facendola operare sullo stantuffo solamente per una porzione della gita; lasciando che questa si compia per la velocità acquistata da' pezzi in moto insieme alla forza decrescente del vapore espandentesi. E, come si disse, l'aumento di effetto sarebbe teoricamente illimitato,

poichè più si dilata il fluido e più lavoro dà fuori, convertendo il proprio calore nel lavoro svolto (§ 28). Ma in pratica varie circostanze pongono limite all'espansione: il cilindro diviene sempre più grande a misura che si adopera un' espansione più spinta, essendochè la pressione media viene a diminuire sempre più; il vapore dilatandosi si raffredda, e per conseguenza raffredda il cilindro a una temperatura assai inferiore a quella del vapore che viene dalla caldaja, per modo che nel principio di ogni gita vi ha notevole condensazione (§ 47); in oltre per essere la spinta ognora decrescente e variabile nelle varie parti della gita, il moto riesce irregolare: la macchina acquista maggiore celerità nell'incominciamento del colpo, e poi tale celerità va scemando verso la fine; ed è manifesto che i pezzi tutti devono avere resistenza tale da reggere alla forza più grande, sì che a parità di lavoro svolto riescono tanto più pesanti quanto maggiore sia l' espansione adoperata. Egli è per questo che nella macchina a un solo cilindro non si suole espandere il vapore più di 4 o 5 volte (per le macchine grandi, al di là di 40 o 50 cavalli; nelle piccole non conviene espandere più di 2 o 3 volte), a meno che non si tratti di macchine da tromba, e in queste si va sino a 14 o 15 volte con vantaggio, poichè il moto è lentissimo e non importa la variazione nella velocità.

Col fine di ovviare a questi inconvenienti dell'espansione ed ottenerne maggiore effetto, furono imaginate le macchine *a doppio cilindro;* l'idea di questo sistema si deve a Hornblower, contemporaneo di Watt; poi abbandonato da lui fu tentato nuovamente da Woolf nel principio di questo secolo, e porta infatti il suo nome, comechè le moderne macchine a doppio cilindro contengano un elemento (l'unico che le renda utili) non adoperato nè dal Woolf nè da Hornblower. Ecco in che consiste l'artifizio di questo sistema:—Supponiamo che gli stantuffi dei

due cilindri *a*, *b*, fig. 145, sieno uniti a due manovelle disposte l'una dirimpetto dell'altra sopra unico albero, per modo che quando in *a* lo stantuffo sale, in *b* discende, e vice versa; sia il cilindro *a* 4 volte più grande di *b*, e sia il sistema munito di robinetti come si vede, il tubo *c* comunicante con la caldaja, l'altro *d* col condensatore. Supponiamo che lo stantuffo di *b* abbia completata la gita verso sopra, e quindi quello di *a* la gita verso sotto; *b* sarà pieno di vapore della tensione della caldaja; in tale stato delle cose apriamo i robinetti *e*, *f*, *g*; il vapore che trovasi in *b* va a premere lo stantuffo di *a*; trascurando la poca dilatazione dovuta a' meati ed allo spazio nocivo, la pressione rimane per il momento qual era prima di aprirsi il robinetto *f*; nel sopra di *b* ci sarà la pressione della caldaja e per conseguenza lo stantuffo piccolo sarà in equilibrio; il grande, invece, subirà tutta la spinta del vapore, essendo che di sopra comunica col condensatore per *g*; in virtù di questa pressione comincia a salire, e nel tempo medesimo trascina giù lo stantuffo piccolo. Ma il movimento dello stantuffo grande fa scemare la pressione sottostante, poichè il volume si va facendo maggiore a malgrado della discesa di *b*; infatti alla fine del colpo quel vapore ch'era contenuto in *b* sarà contenuto in *a*, e nel caso supposto che *a* sia quattro volte più grande di *b*, la pressione alla fine della gita sarà $\frac{1}{4}$ di quella iniziale; da ciò viene che la spinta utile sopra *a* va diminuendo, e va crescendo invece quella sopra *b*; e intanto il vapore si espande nel rapporto dei due cilindri. Giunti gli stantuffi alle estremità rispettive della gita si chiudono i robinetti *e*, *f*, *g*, e si aprono gli altri tre; avviene allora la discesa di *a* e la salita di *b*; il vapore da *b* passa in *a* espandendosi quattro volte, e così di sèguito. S'intende che i due stantuffi potrebbero avere moto anche nel verso medesimo, purchè i meati fossero disposti in modo da condurre il vapore dal sopra

Digitized by Google

d'un cilindro al sotto dell'altro; ovvero ognuno de' cilindri potrebbe essere munito delle ordiuarie valvole distributrici, e allora il discarico del piccolo sarebbe innestato nel cassetto del grande.

Questa costituisce la disposizione di Hornblower e di Woolf, non che di molte macchine più recenti; ma è facile vedere che essa non apporta alcun vantaggio di rilievo sull'espansione in egual misura operata in un cilindro solo: infatti lo stantuffo grande subisce tutta la forza del vapore, precisamente come se il piccolo non ci fosse; è vero che la subisce solo per un istante, ma pur non di meno i pezzi trasmettitori devono necessariamente avere la resistenza bisognevole a reggerle; il vapore penetra nel cilindro grande con tutta la pressione della caldaja, ed è esposto poscia al vapore espanto come se il cilindro piccolo non ci fosse; anche il cilindro piccolo viene esposto in parte ora al vapore in espansione ora a quello della caldaja; e il calcolo dimostra che la compensazione parziale della spinta per l'aumentarsi nel cilindro piccolo mentre diminuisce nel grande, lascia ancora grandissima variazione nella forza al principio ed alla fine della gita. Dimodochè nel tutto insieme sembra che con questa disposizione non si ottiene vantaggio di sorta, e val meglio praticare l'eguale espansione in un sol cilindro, evitando così il doppio attrito e la doppia probabilità di perdita di vapore in due stantuffi invece che in uno. Se non che un cangiamento in apparenza lieve dà valore grandissimo al sistema a doppio cilindro: si supponga che volendo ancora un'espansione di 1 : 4 si faccia il cilindro *b* metà dell'altro; allora invece di far operare il vapore a tutta pressione sullo stantuffo piccolo per tutto il cammino, noi chiudiamo il meato d'entrata a metà di gita; ne viene che alla fine del colpo il vapore nel cilindro piccolo avrà solamente metà della pressione nella caldaja, e quindi passando tale vapore al

cilindro grande, esso spinge lo stantuffo solamente con metà della forza con cui lo spingeva prima; pur non di meno si ha l'eguale espansione, ma distribuita ne' due cilindri, per modo che la spinta riesce assai più equabile. In oltre il cilindro grande, che solo viene in contatto col vapore assai espanto e che solo subisce la tensione bassissima del condensatore, non riceve mai vapore avente la pressione della caldaja, sì che la condensazione nel cilindro riesce meno sensibile. Espandendo dunque il vapore alquanto dentro il cilindro piccolo, si ottiene maggiore equabilità nella pressione utile e quindi minore irregolarità nel moto; tanto che nelle macchine a doppio cilindro così combinate si può utilmente spingere l'espansione fino a 8 o 10 volte.

L'utilità generale del sistema a doppio cilindro, specie per le macchine da terra, è messa in dubbio da molti uomini valentissimi: e infatti di contro a' vantaggi indubitati, troviamo pure l'inconveniente di complicazione maggiore, e quindi maggiore attrito ecc.; e forse per le macchine da terra si possono ottenere eguali vantaggi con un sol cilindro, adoperando un volante pesantissimo per rendere equabile il movimento, e importa poco il peso maggiore de' pezzi reso necessario dalla variazione della spinta. Ma per le macchine marine la cosa è diversa: in queste non si può adoperare il volante, e la grossezza maggiore de' pezzi è da evitare come quella che rende più pesante la macchina, e in oltre la spinta assai variabile porta maggior rischio di rottura; di modo che volendo un'espansione assai grande, per esempio al di là di 1 : 4, è forza adoperare, o le macchine a doppio cilindro, ovvero il sistema de' signori Maudslay, in cui tre macchine ordinarie ad alta espansione spingono il medesimo albero, con le manovelle disposte in guisa da tripartire la circonferenza. Per le macchine marine non troppo possenti sembra preferirsi il sistema a doppio ci-

lindro, e quasi tutti i piroscafi costruiti oggidì si muniscono di tali macchine.

117. *Macchine Rotatorie.*—La velocità delle macchine ordinarie è limitata dall' inerzia de' pezzi che han movimento d'andivieni: per altro è chiaro che ove si potesse aumentare assai la velocità ne risulterebbero notevoli vantaggi, del genere medesimo di quelle che presentano le macchine a connessione diretta a petto di quelle a bilanciere (§ 112); se, per esempio, potessimo spingere il numero de' colpi fatti da una certa macchina, da 100 a 1000, è evidente che ne otterremmo lavoro 10 volte maggiore, e senza sforzare per nulla il meccanismo, poichè la forza trasmessa in ogni istante sarebbe la medesima. Ma con le macchine ordinarie noi non possiamo esagerare così la velocità: per l'inerzia, i pezzi si rifiutano di compiere più di un certo numero di colpi in un dato tempo. La massima velocità di stantuffo la troviamo nelle locomotive ed in alcune macchine marine da elica, ed ascende fino a quattro o quattro e mezzo metri al secondo; ma non ostante che tutti i pezzi sieno di metalli della migliore qualità, per ottenere la massima leggerezza con la dovuta forza resistente, tali macchine non sarebbero un buon modello da seguire, chi volesse imaginare una macchina che lavorasse con qualche costanza. Infatti esse esigono riparazioni a brevissimi intervalli, sicchè non potrebbero lavorare continuamente per un periodo notevole. Sembra perciò impraticabile dare allo stantuffo una grande velocità nelle macchine in cui vi ha moto di andivieni: e per questo si sono fatti e si fanno tuttavia, grandi sforzi per giungere all'invenzione di una macchina nella quale lo stantuffo, insieme ad ogni altra parte del meccanismo, abbia un moto circolare continuo, sì che non ci sarebbe la difficoltà di dovere alternatamente muoverlo e fermarlo. Se si potesse ottenere questo, che costituirebbe la ***macchina rotatoria,***

la velocità di stantuffo potrebbe aumentarsi di molto, essendo che i soli limiti sarebbero: la resistenza de' pezzi roteanti alla forza centrifuga; e la velocità con la quale il vapore potrebbe seguire lo stantuffo e fuggirgli d'innanzi. Ma pare che la cosa sia di somma difficoltà, poichè fra parecchie centinaja di macchine proposte, e moltissime messe a prova, nessuna adempie a tutte le condizioni necessarie. Anche delle macchine rotatorie l'idea è dovuta a Watt, che ne tentò parecchie e delle migliori che sono state proposte.

Digitized by Google

APPENDICE ALLA LEZIONE XXIII.

Compendio della Lezione sui Varj Sistemi di Macchine da Terra.

111. Nella macchina a bilanciere l'asta dello stantuffo invece di unirsi direttamente al connettore si articola ad un bilanciere, le cui oscillazioni producono il moto della manovella e dell'albero; il legame fra l'asta e il bilanciere suol essere il paralellogrammo di Watt; e quest'organo medesimo muove la tromba ad aria. Le macchine di questo sistema sono poco adoperate, poichè, quantunque assai durature e solide, pigliano assai spazio e costano assai; e la ragione ne è che il poderoso bilanciere non si può spingere a rapide oscillazioni, a motivo della sua inerzia, e tale mancanza relativa di velocità rende la macchina voluminosa e pesante in ogni sua parte.

112. Nelle macchine a connessione diretta è tolto il bilanciere, e quindi, essendo più leggiero il meccanismo trasmettitore, si può ottenere maggiore celerità, e quindi egual lavoro da macchine più piccole e più maneggevoli; e perciò esse sono preferite quasi sempre a quelle a bilanciere.

113. Le macchine verticali sono, o a cilindro ritto o a cilindro capovolto; nelle prime l'albero è sostenuto in alto da un sistema di travi, connesso alle mura. Perciò questo sistema esige una fabbrica assai solida, e serve in que' casi in cui la macchina ha da essere stabilita una volta per sempre.

114. Invece, nelle macchine a cilindro capovolto, essendo

Digitized by Google

l'albero appoggiato vicino al suolo, il meccanismo riesce più indipendente dell'edifizio murato; tuttavia, perchè il cilindro è posto in alto, questo sistema non sembra adattato per le grandi macchine. È eccellente invece per le piccole macchine, singolarmente le portatili, poichè si ha il vantaggio della posizione verticale del cilindro, senza che questo sia situato sì alto da non potersi visitare agevolmente.

115. Ma il sistema più largamente adoperato è quello delle macchine orizzontali; e infatti presenta grandissimi vantaggi per la semplicità, per essere agevole visitare ogni parte della macchina ecc. Sì che abbiamo macchine orizzontali fisse, portatili e locomobili: nelle prime il meccanismo tutto posa sopra una base di ghisa che vien fermata ad un massiccio di fabbrica; nelle altre, invece, la base è costituita quasi sempre dalla caldaja medesima, la quale per leggerezza e perchè occupi poco spazio, è sempre tubolare e a fornello interno.

116. Varie circostanze pongono un limite al grado di espansione che puossi praticare, e in singolar modo la temperatura sempre decrescente del vapore espanto che raffredda sempre più il cilindro, e la variazione della spinta che rende il moto più o meno irregolare, e fa sì che i pezzi debbano essere più resistenti di quanto occorrerebbe a trasmettere la forza in maniera costante. Ad ovviare in certo modo a questi svantaggi fu immaginato il sistema a due cilindri, adoperato per la prima volta da Hornblower e poi da Woolf; ma da entrambi senza una circostanza notevolissima che rende utile questo sistema nelle macchine moderne. Nella forma iniziale consisteva nell'adoperare due cilindri l'uno più grande dell'altro; dalla caldaja il vapore penetrava nel cilindro piccolo, poi da questo passava al grande. Ma siccome non c'era espansione nel cilindro piccolo, così il grande riceveva tutta la pressione come se fosse un cilindro solo. Invece nelle macchine moderne il vapore si espande alquanto nel cilindro piccolo, e quindi non giunge a piena forza al grande, sì che il moto riesce più equabile, i pezzi sono meno sforzati, e la condensazione nel cilindro è di minor rilievo. Nelle macchine marine si adopera quasi sempre oggidì questo sistema,

Digitized by Google

poichè un alto grado d'espansione in un cilindro solo rende necessario che si adoperino tre macchine operanti sopra unico albero, in guisa da compensare vicendevolmente le irregolarità della spinta; e il sistema a doppio cilindro riesce men complicato per le macchine di ordinaria dimensione.

117. Siccome il lavoro fornito da una macchina data aumenta con l'aumento della velocità, così si è tentato di spingere assai oltre il numero de' colpi dati dallo stantuffo; ma per l'inerzia si giunge presto a un limite, oltre il quale non basterebbe la forza resistente de' pezzi a dar loro il moto ed a fermarli. E quindi si sono fatti e si fanno, grandi sforzi per giungere all'invenzione di una macchina priva di pezzi animati di moto d'andivieni, in cui ogni cosa si muova circolarmente; ma fin ora non ostante i tentativi numerosissimi, iniziati da Watt, nessuna macchina praticabile è stata prodotta.

Digitized by Google

PARTE VII.

Misurazione dell'Effetto delle Macchine a Vapore.

LEZIONE XXIV.

118. Idea del Lavoro Meccanico. — 119. Unità Industriale. — 120. Lavoro svolto par la Pressione del Vapore.—121. Indicatore di Watt.—122. Freno di Prony; Forza Effettiva. — 123. Forza Nominale.

APPENDICE : — Compendio della Lezione sulla Misurazione dell'Effetto delle Macchine a Vapore.

118. *Idea del Lavoro Meccanico.*—L'effetto prodotto dalle nostre macchine a vapore è di natura svariatissima: ora consiste nel tirar fuori l'acqua da una miniera; ora nel macinare i frumenti; ora nel muovere gli ordigni d'una filanda o d'un' officina; ora nello spingere un piroscafo o nel trarre un convoglio, ecc. Sarebbe difficilissimo paragonare direttamente uno qualunque di questi effetti ad un altro qualunque, per stimarne il valore relativo; se non che il ragionamento mostra che un'unica idea pervade ogni caso, per quanto diverso, di operazione meccanica; e che la differenza fra le varie maniere in cui tale operazione avviene è solamente di forma. E infatti si ha sempre che la macchina supera un ostacolo, si muove a malgrado di una qualche cosa che tende a fermarla : nel caso della tromba, l' ostacolo al moto è

il peso dell'acqua, per cui essa tende a discendere mentre la macchina la costringe a salire; nel macinare il grano, la macchina spinge il mulino a girare mentre il frumento interposto fra le macine tende a mantenerlo fermo; gli ordigni della filanda si fermerebbero ben presto qualora cessasse l'impulso della macchina, dunque essi pure resistono al moto, e la loro resistenza hassi a vincere ognora; e così di ogni altra maniera in cui possa adoperarsi una macchina. Il fenomeno costante si è, dunque, superare un ostacolo, vincere una resistenza.

Dicesi *forza* ogni cagione di moto, o meglio di cangiamento sensibile qualunque: come la gravità, il calore, l'energia di un corpo in moto, ecc. Tuttavia nel misurare le forze esse si considerano solamente come tendenze a produrre il moto, e non vi si racchiude l'idea dello spazio. Ne viene che quantunque intendiamo per la voce forza una cagione di moto, pure il moto stesso non vi si comprende; epperò la misurazione delle forze consiste nel valutare l'intensità di una data tendenza. Così quella tendenza a cadere spiegata, in certe circostanze stabilite, da un litro d'acqua, si piglia come unità di forza e dicesi chilogramma (1); e quando troviamo che un agente qualsiasi tende a produrre movimento sì come il litro di acqua, diciamo che quell'agente spiega la forza di un chilogramma. Se abbiamo, per esempio, una valvola di sicurezza tenuta chiusa da una molla, e se la tensione di questa spinge la valvola quanto la spingerebbe un peso diretto di 10 chilogrammi, possiamo dire senz'altro che sulla valvola opera la forza di 10 chilogrammi. Forza dunque significa, nel senso meccanico, l'intensità, la veemenza con cui un agente qualunque tende a produrre il moto.

Abbiamo veduto che l'effetto meccanico racchiude sem-

(1) Ciò che dicesi *peso* di un corpo, significa unicamente la *forza* con cui esso tende a cadere.

pre l'idea di un ostacolo superato, di una resistenza vinta: deve per conseguenza esserci una forza. E vi ha dippiù: l'ostacolo è superato in maniera sensibile, è rimosso senz'altro; la forza non basta a far ciò: dicemmo difatto che forza significa unicamente intensità, veemenza; e quindi nel misurare l'effetto meccanico ci occorre un altro elemento, ed è lo *spazio percorso* dall'agente che opera il moto. È chiaro che data una intensità, una forza, costante, il valore dell'effetto prodotto sarà proporzionato allo spazio percorso: così l'agente che spinge un corpo con la forza di un chilogramma per lo spazio di un metro, avrà prodotto un effetto doppio di quello che spinse il corpo con la medesima forza per lo spazio di mezzo metro; poichè la forza misura l'intensità dell'ostacolo superato, e lo spazio percorso ne dà la lunghezza, la quantità per così dire. L'effetto meccanico viene perciò perfettamente definito da' due elementi: forza e spazio percorso; e per maggiore comodità nel computare, si adopera pure una unità di tale effetto meccanico, detto con vocabolo proprio *lavoro*, e consiste nel prodotto della forza di un chilogramma nello spazio di un metro, e dicesi *chilogrammetro* (1). Essendo che il lavoro consta di una certa forza operante per un certo spazio, così esso si aumenta tanto con l'aumento della forza quanto con l'aumento dello spazio percorso; per modo che il pro-

(1) S'intende che la direzione in cui opera la forza può essere qualsivoglia, purchè abbia sempre il valore di un chilogramma, e la resistenza superata le sia direttamente opposta: così se si tratta di un peso sollevato, s'intende che il moto ha da essere verticale, e allora il chilogrammetro consiste nel *peso* di un chilogramma *innalzato* di un metro; se si ha un masso di ghisa posato sopra una tavola, e se si trova che a spingerlo orizzontalmente con una data prestezza ci vuole la forza di un chilogramma, allora il chilogrammetro consisterà nello spostare quel masso in direzione orizzontale, e per la distanza di un metro. Per modo che il verso in cui opera la forza non cangia per nulla le condizioni, e per determinare il chilogrammetro è sufficiente e necessario che sia superato per la distanza di un metro un ostacolo equivalente alla forza di un chilogramma.

dotto della forza nello spazio ci rappresenterà sempre il lavoro, siasi qualsivoglia la proporzione de' due fattori: infatti tanto vale superare un ostacolo rappresentato dalla forza di 100 chilogrammi per lo spazio di un metro, quanto superarne uno equivalente ad 1 chilogramma per lo spazio di 100 metri.

È chiaro da quello che abbiamo detto, che un effetto meccanico qualunque può tradursi in lavoro, e perciò stimarsi perfettamente: basta perciò conoscere la forza, e lo spazio percorso dall'agente che la svolge. Così se abbiamo un piroscafo che vogliamo spingere a solcare le onde per una data distanza con una data celerità; per stimare il lavoro meccanico a cui equivale tale operazione, ci basterà conoscere qual forza sia necessaria a produrre nel piroscafo quella velocità, e moltiplicarla nello spazio percorso: se troviamo, per esempio, che a spingere la nave con la voluta prestezza occorre la forza di 2000 chilogrammi, sapremo che per ogni metro percorso ci vorranno 2000 chilogrammetri di lavoro. Se troviamo che a volgere un dato mulino con la dovuta celerità occorre applicarvi la forza di 30 chilogrammi alla periferia della ruota, e che in ogni giro tale periferia percorre 3 metri, sapremo che il mulino in ogni giro piglia: ch. $30 \times 3^m = 90$ chilogrammetri di lavoro; e se in ogni giro dà fuori un centilitro di farina, potremo dire che a produrre tale centilitro di farina occorrono 90 chilogrammetri di lavoro. Bastano questi esempj a render chiaro che un effetto meccanico qualsivoglia può esprimersi semplicemente con un numero più o meno grande di chilogrammetri.

119. *Unità Industriale.*—Ma per istabilire la potenza di una macchina a vapore, non basta precisare l'effetto meccanico di cui essa è capace: non basta il dire che la tale macchina può tirare fuori tanta acqua da una data profondità; che può macinare tanti litri di frumento; in una parola, che può svolgere tanti chilogrammetri di

lavoro. Non accade mai nelle nostre faccende, di qualsiasi genere, che basti precisare la quantità di un lavoro da farsi: è ognora elemento essenziale il *tempo* in cui tale lavoro si abbia a fornire. E così pure nelle macchine: perchè le nostre misurazioni abbiano un valore applicabile commercialmente, è necessario che noi vi comprendiamo l'idea del tempo. Infatti ne' due esempj dati sopra, si parla di un piroscafo moventesi con una data prestezza, di un mulino che si volga con la velocità dovuta; comechè tali circostanze non influiscono sul cómputo del lavoro. Per tanto fu imaginata una unità di misura nella quale vien compreso il lavoro e insieme il tempo in cui tale lavoro si svolge, sì da determinare perfettamente il valore di una data macchina motrice. Ciò fu praticato da Watt, il quale scelse quasi a tipo dei motori il cavallo robustissimo de' birraj di Londra: e trovò che un tale cavallo è capace di superare la resistenza di 75 chilogrammi alla ragione di 1 metro al minuto secondo; ciò significa che svolge 75 chilogrammetri di lavoro *in ogni minuto secondo.* Si vede come questa ultima condizione determina perfettamente la nostra idea del motore: con un tempo illimitato anche una formica potrebbe svolgere i 75 chilogrammetri di lavoro, ma stabilendo che devono svilupparsi in un minuto secondo, diviene manifesto che niun motore che non fosse davvero equivalente al cavallo, potrebbe produrre l'effetto. Questa unità di 75 chilogrammetri al minuto secondo, o di 4500 chilogrammetri al minuto primo, o di 270 000 chilogrammetri all'ora, è quella che dicesi *unità industriale,* ovvero *cavallovapore.*

120. *Lavoro svolto per la Pressione del Vapore.*— Il lavoro meccanico più agevole a misurarsi si è l'innalzamento de' pesi, poichè il peso medesimo dà il valore della forza, e l'innalzamento dà lo spazio percorso da tale forza; e per questo l'effetto de' fluidi elastici nello spingere uno stantuffo suol paragonarsi a quello de' pesi:

infatti abbiamo visto (§ 11) che la forza elastica può stimarsi a ragione di chilogrammi sul centimetro quadrato, per modo che conoscendo il valore della pressione, e l'area dello stantuffo, si ha sùbito la spinta, ossia forza, in chilogrammi. Lo spazio percorso è rappresentato dalla gita dello stantuffo; sì che ne viene il lavoro svolto in ogni gita; e conoscendo il numero delle gite fatte nell'unità di tempo, si ha il lavoro svolto in tale unità.

Sia uno stantuffo dal diametro di un metro; la sua area sarà 7854 centimetri quadrati (§ 56), siavi da un lato la pressione di 2 $^3/_4$ atmosfere, e dall'altro $^1/_4$; la pressione efficace sarà: 2 $^3/_4 - ^1/_4 =$ 2 $^1/_2$ atmosfere, che equivalgono a circa 2 $^1/_2$ chilogrammi sul centimetro quadrato (§ 11); e per conseguenza la spinta differenziale sullo stantuffo sarà: 7854 $\times$ 2 $^1/_2 =$ 19635 chilogrammi. E questa cifra ci rappresenta la forza fatta dal vapore sullo stantuffo. Sia la gita di questo, 0,^{m}75; allora in ogni colpo sarà svolto dal vapore il lavoro di:

$$\text{ch. } 19\,635 \times 0,^{m}75 = \text{chilogrammetri } 14\,726,25.$$

E se lo stantuffo faccia 100 gite in un minuto, il lavoro svolto al minuto sarà:

$$14\,726,25 \times 100 = 1\,472\,625 \text{ chilogrammetri}$$

e siccome 4500 chilogrammetri al minuto costituiscono un cavallo vapore, così il lavoro svolto nel cilindro in discorso sarà:

$$\frac{1\,472\,625}{4500} = 327,\ldots\ldots \text{ cavallivapore.}$$

Rappresentando con a l'area dello stantuffo in centimetri quadrati; con p la pressione differenziale in chilogrammi sul centimetro quadrato; con g la gita in metri; e con

n il numero di colpi al minuto; il calcolo fatto or ora prende questa forma generale:

$$\frac{a \times p \times g \times n}{4500} = \text{cavallivapore.}$$

L'area moltiplicata per la pressione ci rappresenta la forza, e la gita moltiplicata per il numero de' colpi denota la velocità dello stantuffo; per modo che il còmputo si riduce semplicemente a moltiplicare la forza per lo spazio percorso nell'unità di tempo, e dividere il prodotto per l'unità industriale.

Gli elementi che bisogna conoscere per applicare questa formola a un caso qualunque sono: 1° l'area dello stantuffo; 2° la pressione differenziale; 3° la gita dello stantuffo; 4° il numero de' colpi fatti in un minuto. L'area dello stantuffo, la gita, e il numero de' colpi si determinano sùbito per l'osservazione diretta, smontando, se occorre, uno de' coperchj del cilindro. Ma quanto alla pressione differenziale il caso è ben diverso: bisogna che si conosca la tensione del vapore a' due lati dello stantuffo, e precisarla sarebbe difficilissimo senza un qualche mezzo speciale. Infatti sappiamo che è necessario all'operare del regolatore (§ 51) che nella caldaja vi sia sempre un certo eccesso di pressione, e ne viene che il manometro sulla caldaja non ci dà indizio della pressione dentro del cilindro; in oltre, anche con la conchiglia semplice, vi è sempre più o meno espansione, e il calcolarla riesce sempre più o meno difficile; e pure che non ve ne fosse, lo strozzamento dei meati, l'anticipo, il discarico anzi tempo ecc., rendono quasichè impossibile il predire quale sarà la pressione dentro del cilindro; e poi c'è il raffreddamento e la perdita di vapore per imperfezioni dello stantuffo, che in certo modo influiscono sulla pressione, specie dopo chiusa la valvola. Tenuto conto di queste circostanze si scorge la difficoltà grandissima di preci-

Digitized by Google

sare la pressione nel cilindro ne' varj punti della gita, e sembra a prima vista impossibile poterne fare una misurazione diretta, imperocchè il suo valore è variabile da un momento all'altro, secondo le posizioni diverse che va assumendo lo stantuffo. Pure il genio di Watt seppe sormontare ogni difficoltà, e indurre il vapore a renderci esatto conto della sua pressione in ogni parte della gita; la qual cosa rende agevolissimo il cómputo del lavoro fatto dal vapore sullo stantuffo.

121. *Indicatore di Watt.* — Ho qui un piccolo cilindretto, dal diametro di 20 millimetri circa, di bronzo, in cui è aggiustato benissimo uno stantuffo anch'egli di bronzo e massiccio, in guisa da scorrere senza attrito sensibile, e nel medesimo tempo senza lasciar passare vapore da una parte all'altra; il sopra di questo cilindretto è aperto all'atmosfera, e fra lo stantuffo e un ponte posto sulla bocca del cilindro è interposta una molla spirale, legata pure allo stantuffo. Ne viene che la posizione di questo nel cilindretto è determinata dalla tensione della molla e dalla pressione sulle due facce: mentre il sotto del cilindro comunica con l'atmosfera, come il sopra, la molla sta in equilibrio; ma se facciamo operare nel sotto del cilindro una pressione maggiore della atmosferica, la molla non potrà resisterle nello stato iniziale, e perciò si comprime, e lo stantuffo sale, finchè la forza acquistata dalla molla non si rende sufficiente a equilibrare l'eccesso di pressione. Se invece facciam comunicare il cilindretto con uno spazio in cui vi sia pressione più piccola della atmosferica, la molla sarà estesa per la preponderanza della pressione soprastante, fino a che non assume tensione capace di equilibrarla. Allo stantuffo è legata un'asticina che termina in un piccolo astuccio in cui è posto un lapis, e la posizione di questo ci significa l'altezza dello stantuffo nel cilindro. Una graduazione, fatta esperimentalmente, denota a qual forza elastica rispondono le varie posizioni dello stantuffo; dimodochè

Digitized by Google

questo ingegno costituisce così un vero manometro, e può mostrare le pressioni tanto superiori che inferiori alla atmosferica. Se noi facciamo comunicare il sotto del cilindretto col cilindro di una macchina a vapore, avremo che lo stantuffo si muoverà su e giù in obbedienza alle pressioni diverse assunte dal vapore nel cilindro: nell'andata dello stantuffo della macchina, esso sale e comprime la molla; nel ritornare dello stantuffo la pressione diminuisce, e però scende il piccolo stantuffo e stira la molla. Se si avesse un mezzo di registrare le varie posizioni assunte dallo stantuffo indicatore nelle varie parti della gita, si avrebbero sùbito le corrispondenti pressioni: e appunto in ciò consiste l'artifizio dell'indicatore. Sopra del cilindretto *ab*, fig. 146, è posta una tavoletta, *cdef*, scorrevole fra due guide; su di essa è fissato un pezzo di carta, come si vede, e la punta del lapis *g*, posto all'estremità dell'asta, tocca la superficie di tale carta; dimodochè movendosi lo stantuffo ovvero la tavoletta vien segnato un tratto. La tavoletta vien legata a un punto qualunque della macchina il cui moto coincida, quanto al tempo, con quel dello stantuffo, sì che si muoverà ora nel verso della freccia ora nel verso opposto. Il robinetto *h* si dispone come nella nostra figura, cioè in modo che metta il sotto del cilindro *ab* in comunicazione con l'atmosfera; in questo stato delle cose lo stantuffo starà nella sua posizione d'equilibrio, e la punta del lapis coinciderà con lo zero della scala, la quale è divisa in atmosfere, o in centimetri di mercurio ecc. al di sopra e al di sotto della pressione atmosferica; mettendo in moto la tavoletta, vien segnata sulla carta la linea orizzontale *gi*, e dicesi la linea atmosferica, poichè denota che durante il tempo in cui fu disegnata, la pressione dentro il cilindretto indicatore era quella atmosferica. Se distacchiamo la tavoletta dal meccanismo che la muove, e la lasciamo ferma all'estremità della gita, come nella figura, e se allora volgiamo il robinetto in

modo da far comunicare il cilindro con quello della macchina; avremo che lo stantuffo si muoverà in sù nell'andare dello stantuffo della macchina, e scenderà nuovamente quando, pel ritorno di quello, si apre la comunicazione col condensatore. Viene perciò segnata sulla carta la linea verticale *gp*, la quale ci mostra che la pressione giunse a circa 2 ½ atmosfere al di sopra dell'atmosfera, e che scese a circa ¾ di atmosfera sotto dell'atmosfera medesima. Questo ci dà solamente i limiti della pressione, e non ci denota la durata di essa, nè i suoi valori intermedj : ma se noi facciamo operare lo stantuffo indicatore nel tempo stesso in cui si muove la tavoletta, avremo una figura chiusa invece che una linea, e tale figura ci rappresenterà la pressione in tutti i punti della gita, e per conseguenza ci farà conoscere la spinta media operante sullo stantuffo della macchina. Ecco in qual maniera vien delineata la figura : — Sieno le cose disposte come nel nostro disegno: il cilindretto indicatore è posto in comunicazione con una estremità del cilindro della macchina; lo stantuffo della macchina sta per incominciare la sua gita in verso sinistra, e la tavoletta è anch'essa in simile circostanza; lo stantuffo indicatore sta in equilibrio, e il suo lapis posa in *g* sulla linea atmosferica. Penetra il vapore nel cilindro per l'incominciamento della gita, e penetra pure, pel robinetto *h*, dentro il cilindretto; cessa per conseguenza l'equilibrio dello stantuffo indicatore, ed esso è spinto celeremente su, e fin quando la forza della molla compressa bilancia quella del vapore; nel salire, il lapis disegna la linea *gl*, che riesce sensibilmente verticale perchè il moto della tavoletta nel principio della gita è assai pigro, e sul punto morto c'è anche un istante di riposo che basta alla rapida salita del lapis. Compressa la molla tanto da equilibrare la forza del vapore, il lapis si ferma; intanto lo stantuffo della macchina, e con esso la tavoletta, incominciano la gita in verso sinistra, e quindi il lapis de-

linea sulla carta che gli scivola sotto, la linea orizzontale *lm;* se la pressione nel cilindro si mantenesse uniforme per tutto il cammino dello stantuffo, il lapis rimarrebbe per tutta la gita all' altezza di *lm*, e questa linea sarebbe continuata per tutto il cammino della tavoletta; ma noi vogliamo supporre che a metà di gita venga chiusa la valvola da espansione: a metà di gita il lapis si trova sul punto *m*, poichè la tavoletta ha fornito metà del suo cammino verso sinistra, e in questo istante medesimo vien chiusa la valvola del vapore; continuando il moto dello stantuffo, la pressione dentro il cilindro e nell'indicatore scema, e per conseguenza lo stantuffo del cilindretto discende per la preponderanza della spinta della molla; ma nel tempo medesimo che lo stantuffo insieme col lapis discende, la tavoletta corre velocemente in verso sinistra, e quindi vien delineata la curva *mn* pel moto composto, del lapis che si abbassa e della tavoletta che si muove orizzontalmente. Intanto lo stantuffo della macchina è giunto all' estremità della gita, e per il suo ritorno si lascia scappar via al condensatore il vapore che lo spinse; la pressione cade dunque a quella del condensatore, tanto nel cilindro principale quanto nel nostro strumento; lo stantuffo di questo, spinto dalla pressione atmosferica, vien giù di botto e stira la molla, tanto da equilibrar la differenza fra tale pressione e quella nel cilindro; anche in questo caso il moto dello stantuffo avviene nelle vicinanze del punto morto della tavoletta, e quindi la linea *nio* riesce (nelle supposte condizioni) quasi verticale. Comincia adesso la gita di ritorno in verso dritta: la pressione si mantiene costante per quasi tutto il cammino, epperò il lapis delinea il tratto orizzontale *op;* e verso la fine della gita penetra nuovamente il vapore per la gita successiva, il lapis balza su un' altra volta fino in *l*, e ricominciano le medesime fasi.

Dobbiamo adesso vedere come dalla figura così dise-

gnata dall'indicatore si argomenta la pressione esistente nel cilindro in ogni dato punto della gita, e quindi la spinta media differenziale che opera sullo stantuffo. Abbiamo veduto che la parte superiore *lmn* del profilo vien disegnata nell'andare dello stantuffo, e l'altra inferiore *op* nel ritornare dello stesso; le linee verticali essendo delineate sui punti morti. Ne conseguita che la pressione significata dalla linea *lmn* denota la forza che spinge lo stantuffo avanti nell'andare, e che quella rappresentata dalla linea *op* denota la forza che lo stantuffo deve superare nel suo ritorno: difatto è chiaro che se noi aumentiamo la pressione che spinge lo stantuffo, la linea *lmn* si disegnerà in una positura più alta; ed è del pari manifesto che se noi rendiamo più piccola la pressione nel condensatore, la linea *op* verrà delineata più basso.

Guardando un lato solo del cilindro in una macchina qualunque, si comprende di leggieri che la spinta utile fatta dal vapore consiste unicamente nella differenza tra la pressione subìta dallo stantuffo nell'andare, e quella subìta nel ritornare indietro: e difatto se noi facessimo ritornare lo stantuffo senza mandar via il vapore a tensione minorata, non otterremmo lavoro utile veruno, perocchè la resistenza sarebbe eguale alla potenza. La figura fornita dall'indicatore ci denota le pressioni esistenti a un lato solo dello stantuffo, e quindi non ci dà direttamente la spinta differenziale operante in un dato punto della gita, sibbene la differenza fra la spinta subìta dallo stantuffo nell'andare e quella subìta nel ritornare. E questa, come si disse, rappresenta in vero la forza utile, e vale benissimo pel còmputo del lavoro; tuttavia ove si voglia conoscere pure la vera pressione differenziale operante sullo stantuffo in un dato punto della gita, bisogna paragonare due figure prese alle due estremità del cilindro, come diremo più innanzi. Se la pressione fosse davvero costante nell'andare e nel venire dello stantuffo, il lapis dell'indicatore, invece di scendere al-

l'estremità della gita, come in *n i o*, resterebbe al suo posto, e nel ritorno della tavoletta passerebbe nuovamente sulla linea già delineata *nml*; e la percorrerebbe nella gita successiva, e così di sèguito; per modo che verrebbe disegnata unicamente una *linea* di forma e ad altezze diverse secondo il variare della pressione, ma pur sempre sarebbe una linea, per l'eguaglianza della spinta nell'andare e nel ritornare dello stantuffo. In questa circostanza, spinta differenziale non ce ne sarebbe, nè ci sarebbe svolgimento alcuno di lavoro. Invece, se la pressione nel ritornare dello stantuffo sia più piccola che nell'andare, il lapis non ritornerà nella medesima linea, sibbene ne segnerà un'altra, e più in basso, dimodochè sarà racchiuso un certo spazio, ci sarà una certa distanza, fra le due linee; ed è manifesto che tale distanza ci rappresenta la differenza tra la pressione nell'andare e quella nel venire dello stantuffo, e per conseguenza la spinta differenziale (1). Se il contorno delineato dall'indicatore fosse un rettangolo, ci sarebbe sùbito nota la pressione differenziale: ci basterebbe misurar la distanza costante fra le due linee orizzontali della figura, e vederne il valore sulla graduazione dello strumento. Supponiamo difatto aver ottenuto un profilo rettangolare, come *a b c d a* nella fig. 147: sarà evidente in questo caso che tanto la pressione d'andata *ab*, quanto quella di ritorno *cd*, sono uniformi, e che la differenza tra di esse è rappresentata da *ad* oppure da *cb*, ecc. E vediamo sulla scala che tale

(1) La lunghezza della figura denota lo spazio percorso dallo stantuffo, e siccome il lavoro consta della forza moltiplicata per lo spazio percorso, così l'*area* della figura rappresenta pure il lavoro, essendo che la sua altezza è proporzionata alla forza e la sua lunghezza allo spazio. Tuttavia mi sembra che il còmputo riesce più spedito e più chiaro considerando la figura come rappresentante la sola pressione differenziale; infatti non abbiamo bisogno così di tener conto alcuno della lunghezza del profilo, nè di ragguagliarlo alla vera gita dello stantuffo.

Digitized by Google

differenza di pressione risponde a 2 atmosfere; poichè abbiamo 1 ¼ atmosfera sopra la linea atmosferica, più ¾ di atmosfera al di sotto della medesima. Questo significa, tenuto conto della maniera in cui è fatta la graduazione, che la pressione vera nell' andare dello stantuffo fu di 2 ¼ atmosfere, e che nel ritorno fu di ¼ di atmosfera, sì che rimase utile la differenza, 2 atmosfere; e infatti un' atmosfera sotto la pressione atmosferica vuol dire 0; lo zero dell' indicatore vuol dire in realtà 1 atmosfera, e via discorrendo (vedi pag. 314). Ma questo caso di pressione uniforme per tutta la gita è solamente imaginario: in pratica non si ha mai, e la figura assume sempre una forma più o meno irregolare, e appunto perchè la pressione è variabile da un istante all' altro, come si vede in certo modo nella fig. 146. Allora è necessario ricorrere a un qualche artifizio geometrico a fine di stabilire l'altezza media della figura; puossi adoperare questo: — Sia il contorno dato dall'indicatore quello della fig. 148; la distanza orizzontale *ab* rappresenta il cammino della tavoletta e però dello stantuffo della macchina; si divide tale distanza in un numero qualunque di parti eguali, vogliamo dire 10, e si tirano pe' punti di divisione le perpendicolari *cd*, ecc., alla linea atmosferica, e che tagliano il profilo, come si vede. Accanto al profilo abbiamo disegnato la scala *ef* delle pressioni, presa dallo strumento medesimo. Sopra questa scala misuriamo le altezze della figura sulle linee perpendicolari, e segniamo sopra ciascuna di queste la pressione corrispondente: così all'estremità sinistra della figura mettiamo uno zero, poichè altezza non ce ne abbiamo; in *cd* mettiamo 0,50; in *gh* mettiamo 0,65; e via discorrendo. Considerando separatamente ogni striscia della figura, possiamo assumere che tale striscia sia limitata da linee rette, che sia un trapezio, e quindi ci sarà facile computare l'altezza media di ogni striscia; e poi sommando

insieme le 10 altezze ottenute, e dividendo per 10, ch'è il numero delle strisce, avremo l'altezza media di tutta la figura.

Così cominciando dall'estremità sinistra abbiamo:

Altezza media della

1ª striscia	$= \frac{0 + 0,50}{2}$	$= 0,250$
2ª »	$= \frac{0,50 + 0,65}{2}$	$= 0,575$
3ª »	$= \frac{0,65 + 0,75}{2}$	$= 0,700$
4ª »	$= \frac{0,75 + 0,95}{2}$	$= 0,850$
5ª »	$= \frac{0,95 + 1,20}{2}$	$= 1,075$
6ª »	$= \frac{1,20 + 1,55}{2}$	$= 1,375$
7ª »	$= \frac{1,55 + 1,90}{2}$	$= 1,725$
8ª »	$= \frac{1,90 + 2,10}{2}$	$= 2,000$
9ª »	$= \frac{2,10 + 2,15}{2}$	$= 2,125$
10ª »	$= \frac{2,15 + 1,70}{2}$	$= 1,925$

Somma delle altezze medie delle 10 strisce . . . . = 12,600

Per modo che l'altezza media di tutta la figura riesce:

$$\frac{12,600}{10} = 1,26.$$

E siccome l'unità della graduazione è l'atmosfera, così possiamo dire che la pressione differenziale media operante sullo stantuffo quando venne delineato il profilo in discorso, era di chilogramma 1,26 sul centimetro quadrato. E conosciuto ciò è agevole computare il lavoro, come si disse nel § 120. Si comprende che il metodo approssimativo da noi seguito darà cifre tanto più esatte, quanto più numerose sieno le strisce in cui si divide il profilo.

Dicemmo che l'indicatore ci denota le pressioni operanti sopra un lato solo dello stantuffo: per le macchine orizzontali in cui le circostanze di pressione sono simili alle due estremità del cilindro, basta computare il lavoro svolto a un lato, e assumere che all'altro se ne svolga altrettanto. Ma nelle macchine verticali, specie le marine, ciò non basta; poichè, a bilanciare l'effetto del peso dello stantuffo e suoi annessi, la distribuzione del vapore è combinata in modo da lasciar entrare più vapore da sotto che da sopra. E allora bisogna applicare l'indicatore ad ambe le estremità del cilindro e computare il lavoro separatamente per ogni lato.

Con le pressioni elevate e con le grandi velocità avviene spesso che lo stantuffo dell'indicatore, per la propria inerzia, salta al di là dell'altezza dovuta alla pressione, e poi per l'elasticità della molla compie una serie di oscillazioni più o meno ampie; ne viene che il lapis disegna una curva sinuosa in cui sono rappresentate quelle oscillazioni, come vedesi all'angolo superiore destro della fig. 148, nelle linee punteggiate. Nel calcolare l'altezza media vale meglio correggere il profilo, tirando una linea che sia discosta egualmente dalle cime e dalle massime depressioni, come si vede nella figura sudetta.

È chiaro che la potenza risultante dalla figura fornita dall' indicatore, rappresenta quella realmente svolta dal fluido e comunicata allo stantuffo; e dicesi *forza indicata* della macchina. Come si vedrà meglio più innanzi, essa non denota la vera potenza di cui la macchina è capace, poichè una porzione del lavoro sviluppato nel cilindro si spende nel superare le resistenze della macchina stessa; come l'attrito, il movimento della tromba ad aria, l'alimentazione ecc.

Il profilo delineato dall'indicatore di Watt non solo ci dà il mezzo di computare benissimo il lavoro svolto dal vapore, ma ci presta pure altre notizie assai utili intorno al meccanismo distributore e all'andamento generale della macchina. Questo si vedrà sùbito analizzando un poco il profilo della fig. 148: vediamo in primo luogo da questo profilo che la pressione iniziale del vapore si mantenne costante solo per poco più di $1/_{10}$ della gita: in *i* cominciò ad abbassarsi; e questo vuol dire che il meato del vapore era strozzato notevolmente, per modo che mentre il moto dello stantuffo era pigro, bastava l'apertura strozzata a lasciar passare il vapore; poi quando la velocità dello stantuffo divenne più grande, il meato impicciolito non bastò più a fornire il volume necessario a riempire lo spazio generato, e la pressione cominciò a cadere. In *l* si scorge un cangiamento nell' indole della curva: da convessa diviene concava; e la forma del contorno da *l* in poi, ci mostra che in *l* si chiuse la valvola da espansione; e infatti la porzione *lgc* del contorno, ha la forma iperbolica corrispondente al decrescimento regolare per l'espansione (vedi la nota a pag. 111). In verso il punto *c* si scorge un abbassamento più rapido; ed è dovuto all'aprirsi con anticipazione del passaggio di discarico, effetto del precesso dell' eccentrico (§ 69, pag. 185). Ed in questo caso sembra alquanto esagerato: lo stantuffo giunge all' estremità della gita senza pressione alcuna. Pel ritorno dello stantuffo vediamo che la

pressione si va abbassando alquanto per tutta la gita, ma la differenza è piccolissima, e quindi giudichiamo che l'esito del vapore e la condensazione vanno bene. Prima della fine della gita, in *m*, la forza elastica aumenta; e significa che in questo punto si chiuse il meato del discarico e incominciò la compressione del vapore (§ 69, pag. 185); in *n* avvenne probabilmente l'apertura del passaggio d'immissione, e sul punto morto la pressione saltò sino alla massima, per modo che lo stantuffo incominciò a muoversi con tutta la forza del vapore.

Queste ed altre notizie molte si possono argomentare dalle indicazioni dello strumento meraviglioso di cui diciamo; e si comprende di leggieri come esso sia pregevolissimo, e quasi indispensabile all'esatto studio di una macchina a vapore qualunque. E lo si costruisce in varie forme: invece della tavoletta scorrevole si adopera più volentieri oggidì un tamburo, sulla cui superficie si attacca la carta, e il quale rotea per un certo tratto di giro sul proprio asse, in corrispondenza co' movimenti dello stantuffo; e il lapis, invece di esser legato direttamente sull'asta dello stantuffo indicatore, vi si suole unire a mezzo di una leva che ne aumenta il moto e ne rende più sensibili le oscillazioni. In ogni maniera è cangiata unicamente la disposizione delle parti, e quindi credo superfluo insistervi ancora, potendo chiunque, avendo lo strumento nelle mani, persuadersi sùbito del meccanismo semplicissimo.

122. *Freno di Prony; Forza Effettiva.* — Dicemmo che l'indicatore ci denota la potenza svolta dal fluido e data allo stantuffo, e che tale potenza non è quella di cui è realmente capace la macchina, perchè una parte di essa s'impiega a vincere le resistenze inerenti alla macchina medesima. È utilissimo intanto conoscere qual'è la forza che questa può davvero dar fuori, poichè sopra questa solamente possiamo contare; e si dice ***forza effettiva*** per distinguerla dalla indicata. In talune condizioni

possiamo misurare direttamente il lavoro effettivo dato fuori dalla macchina, per esempio quando si tratta di sollevare l'acqua di un pozzo: basta in tale caso conoscere il peso dell'acqua innalzata in un dato tempo, moltiplicarlo per l'altezza verticale, e dividere il prodotto per l'unità industriale rispondente al tempo prescelto. Così una data macchina applicata a tirar fuora l'acqua da un pozzo, ne dà in un'ora chil. 28 448; la distanza verticale fra la superficie dell'acqua e il punto in cui essa si scarica è 24 metri; e la forza effettiva di tale macchina è:

$$\frac{28\,448 \times 24}{270\,000} = 2{,}53 \text{ cavallivapore.}$$

Ma non sempre le nostre macchine sono applicate all'elevazione de' pesi; e gli altri effetti meccanici prodotti difficilmente potrebbero stimarsi. Giova quindi avere un qualche mezzo che ci faccia conoscere la forza effettiva di una macchina qualunque. E suole adoperarsi perciò il *freno di Prony;* ecco in che consiste: — Fig. 149; sull'albero *a* della macchina s'imbietta una puleggia *b*, e questa è cinta tutt'intorno di pezzi di legno tenuti insieme da una fascia di ferro; le estremità arrotondate della fascia penetrano in due fori praticati nella leva *cd*, e sono munite di chiocciole *e*, *f*, che tengono il tutto in posto. Due pezzi fermi *g*, *h*, limitano il movimento della leva in ambi i versi. Volendo precisare la forza effettiva della macchina, la si libera di ogni resistenza che non le sia inerente, in modo che tutta la forza di cui essa è capace sia applicata al freno; allora le si dà moto, e si vanno stringendo a poco a poco le chiocciole *e*, *f*, in guisa da limitare la velocità della macchina a quella consueta; intanto la leva, per l'attrito fra la puleggia e i cuscinetti di legno, tende a seguire il moto della macchina, tende a roteare nel verso della freccia; se non che il

pezzo *h* la mantiene a segno. Aperta regolarmente la valvola del vapore, e serrate le chiocciole quanto basta a mantenere la giusta velocità, avremo che tutta la forza svolta dalla macchina viene impiegata a superare l'attrito fra la puleggia e la sua cinta di legno, poichè questa è tenuta ferma e l'altra vi si volge dentro, e l'attrito assorbe tutto il lavoro svolto, essendo che la velocità si mantiene uniforme. Per conseguenza se noi misuriamo il valore di tale attrito, avremo quello della forza effettiva che gli equivale. All'estremità della leva è posto un piattello; noi vi poniamo tanto peso quanto basti a tener la leva in equilibrio, e allora questo peso ci rappresenta il valore dello sforzo fatto dall'attrito a far roteare la leva, e quindi il valore della resistenza che equivale alla forza effettiva della macchina. Ma l'attrito avviene alla superficie della puleggia, il peso opera all'estremità della leva; e s'intende perciò che quello dev'essere tante volte più intenso di questo quante volte il raggio della puleggia è più piccolo della distanza orizzontale fra l'asse della macchina e i pesi all'estremità della leva; ma lo spazio percorso dalla superficie della puleggia è più piccolo di quello che percorrerebbero i pesi in *i*, nella medesima proporzione; per modo che il lavoro equivalente all'attrito può esprimersi indifferentemente in queste due maniere : o moltiplicando la forza a cui equivale l'attrito per la velocità con cui corrono le superficie stropicciantisi; ovvero moltiplicando la forza all'estremità della leva (rappresentata dal peso), per la velocità equivalente alla distanza *ai*. E infatti si può supporre che al congegno di freno sia sostituita una grande puleggia di raggio eguale ad *ai*, come vedesi nelle linee punteggiate; ed in tal caso se fosse avvolta una fune alla puleggia, e legativi i pesi *i*, il tutto rimarrebbe come prima, se non che i pesi sarebbero trascinati su con una prestezza proporzionata al raggio *ai* della puleggia. Epperò, col freno, ci basta trovare la velocità fittizia dell'estremità della leva, e mol-

tiplicarla pel peso, ed abbiamo così il lavoro svolto nel dato tempo. Supponiamo che la macchina faccia 60 giri al minuto; che la distanza orizzontale *ai* sia 1,m5; e che i pesi (in uno con l'effetto della leva stessa) valgano 25 chilogrammi : la velocità fittizia del punto *i* sarà :

$$2\,\pi \times 1,^{m}5 \times 60 = 565,2$$

metri al minuto; e il lavoro corrispondente :

$$\text{ch. } 24 \times 565,^{m}2 = 13\,564,8$$

chilogrammetri in ogni minuto, e perciò :

$$\frac{13\,564,8}{4500} = 3, \ldots\ldots \text{ cavallivapore.}$$

Si vede che in questa maniera di computare non occorre tener conto del diametro della puleggia; tuttavia per maggiore chiarezza vogliamo rifare il calcolo misurando direttamente l'attrito. Sia il raggio della puleggia 15 centimetri; il valore dell'attrito sarà tante volte più grande di quello de' pesi, quante volte il raggio della puleggia è più piccolo della distanza *ai;* e

$$0^{m}15 : 1^{m}5 :: \text{ch. } 24 : \text{ch. } 240.$$

Il valore dell'attrito sulla puleggia è dunque 240 ch. La velocità della circonferenza della puleggia si è :

$$2\,\pi \times 0,^{m}15 \times 60 = 56,^{m}52$$

la quale moltiplicata per il valore dell'attrito ci dà:

$$56,^{m}52 \times 240 = 13\,564,8$$

chilogrammetri, come nell' altra maniera di computare.

Paragonando la forza effettiva alla indicata, abbiamo la quantità di lavoro speso nel vincere le resistenze inerenti. E sono di valore variabilissimo; dipendono dal disegno della macchina, dalla sua dimensione, dal lavorìo più o men buono, e da mille altre condizioni. Per le macchine piccòle, sino alla forza di 10 o 15 cavalli effettivi, sogliono valere circa un terzo dell' intero lavoro svolto: così se l'indicatore denota 12 cavalli, la forza effettiva potrà essere circa 8. Ma si comprende che una macchina più perfetta avrà minore resistenza. E nelle macchine più grandi tale resistenza è sempre più piccola, sia per la minore superficie relativa de' pezzi stropicciantisi, sia perchè nelle grandi macchine si ha maggiore perfezione nella forma de' pezzi medesimi. Per le macchine marine di 400 o 500 cavalli sembra che la forza effettiva sia a un dipresso $^3/_4$ della indicata.

123. *Forza Nominale.*—È pure in uso una terza maniera di esprimere la potenza delle macchine a vapore: e consiste nel supporre che operi sullo stantuffo la pressione differenziale di $^1/_2$ atmosfera (esattamente $^{70}/_{147}$ d'atmosfera). I cavallivapore ottenuti con questa maniera di calcolare diconsi *nominali;* e, come è chiaro, la cifra ottenuta non ha relazione stabilita alcuna nè con la forza effettiva nè con la indicata. Veramente non si comprende come rimanga ancora in uso un tale metodo di valutare la potenza; e significa semplicemente l'applicazione imaginaria alle nostre macchine, della pressione adoperata da Watt. Ne viene che talvolta i giornali, nel dare notizia della prova d' un nuovo piroscafo, raccontano tutti compresi di ammirazione che le macchine svilup-

Digitized by Google

parono una potenza 4 o 5 volte maggiore della nominale!

La *regola* che abbiamo dato sopra è quella dell'ammiragliato inglese; alcuni costruttori costumano di assumere pure la velocità dello stantuffo, per modo che la forza nominale rappresenti le dimensioni del cilindro. E tale velocità fittizia è pure, a un dipresso, quella delle macchine di Watt; cioè 0,m65 al secondo. Questa è la regola detta *civile* da' costruttori inglesi, per distinguerla da quella dell'ammiragliato. Ed è tempo che fossero bandite amendue.

Digitized by Google

APPENDICE ALLA LEZIONE XXIV.

Compendio della Lezione sulla Misurazione dell'Effetto delle Macchine a Vapore.

118. Gli effetti meccanici operati dalla macchina a vapore sono di natura svariatissima, per modo che sarebbe impraticabile stimarne il valore relativo paragonandoli direttamente. Per altro tutti possono ridursi ad una idea unica e benissimo definita, ed è quella del lavoro meccanico: qualunque siasi l'effetto operato da un motore, vi troviamo sempre come condizione essenziale il rimovimento d'un ostacolo per un certo spazio; come quando si solleva un peso, la gravità pone un ostacolo, tirando giù il peso, e il motore l'ha da vincere ognora, elevando il peso medesimo; e questo dicesi lavoro meccanico, e lo troviamo in qualsiasi effetto prodotto da' motori. La sua misura è: l'intensità della forza necessaria a superare l'ostacolo, moltiplicata per lo spazio percorso; e quando quella si rappresenta con un numero di chilogrammi, e questo con un numero di metri, il lavoro risultante riesce espresso in unità dette chilogrammetri.

119. Ma il vero valore di una macchina motrice non si può esprimere solamente con l'indicazione dell'effetto meccanico di cui è capace: un elefante ed una mosca potrebbero fornire l'eguale lavoro in certe circostanze. Epperò è necessario racchiudere nella espressione della potenza di un motore, la misura del tempo in cui esso può compire il dato lavoro meccanico; e facendo questo viene perfettamente determinata la potenza. A fine di avere un tipo al quale si

potessero paragonare le macchine motrici, Watt misurò quanto lavoro poteva esser fornito da un robusto cavallo in un dato tempo; e trovò 75 chilogrammetri di lavoro in ogni minuto secondo. Il prodotto di queste due quantità, di lavoro e di tempo, determinano perciò completamente il valore meccanico del cavallo provato da Watt; e fu preso come unità nel misurare l'effetto delle macchine motrici, sotto il nome di cavallovapore.

120. L'effetto della pressione nello spingere uno stantuffo è perfettamente paragonabile a quello de' pesi: infatti le pressioni si esprimono sovente in chilogrammi sopra una superficie data. E però conoscendo la pressione differenziale e l'area dello stantuffo, si ha sùbito la forza con cui tale stantuffo è spinto; se poi si moltiplica questa forza nella gita, si ha il lavoro svolto in ogni escursione; finalmente moltiplicando il prodotto ottenuto, per il numero delle gite nell'unità di tempo, si ha il lavoro svolto in tale unità. E basta allora dividerlo pel numero di chilogrammetri rappresentante il cavallovapore nell'unità di tempo prescelta, ad avere la potenza svolta dal vapore nel cilindro, espressa in cavallivapore.

121. Gli elementi necessarj ad applicare il còmputo sudetto ad una macchina a vapore qualunque, si ottengono tutti, eccetto un solo, dalla semplice osservazione. Ma quella eccezione è della più alta importanza, è la pressione differenziale del vapore: il manometro ci dà la pressione del vapore nella caldaja, e l'indicatore del vuoto ci dà quella dentro il condensatore; ma nel cilindro non ci è mai nè la forza elastica della caldaja nè quella del condensatore, poichè il giuoco della valvola distributrice, l'espansione, le perdite intorno allo stantuffo, il raffreddamento e tante altre cause, la fanno variare irregolarmente. E parrebbe impossibile indovinarla con qualche approssimazione, tanto sono irregolari e variabili le cause che la fanno cangiare: se non che il sommo genio di Watt seppe combinare un istrumento, che non solo indica la pressione che regna nel cilindro in ogni dato punto della gita, ma ne registra sopra una carta ogni particolarità, ogni oscillazione; per modo che dalla figura

delineata da questo strumento, l'indicatore di Watt, non solamente puossi computare il lavoro svolto, ma pure si possono scoprire i vizj della distribuzione, e ricavare tanti altri ragguagli utilissimi. L'indicatore di Watt ci fa conoscere la potenza con cui il vapore spinge lo stantuffo, e tale potenza, ridotta in cavallivapore, dicesi forza indicata.

122. La forza indicata non denota direttamente il lavoro che la macchina può dar fuori, poichè una parte di essa si adopera nel superare le resistenze inerenti della macchina: come l'attrito, il movimento delle trombe ecc. E però si ha una seconda maniera di esprimere il valsente meccanico di un motore, e che significa il lavoro che tal motore può realmente dar fuori; ed è chiaro che questo, detto forza effettiva, dev' essere rappresentato da una frazione più o men grande della forza indicata; essendo che consiste nella parte di questa ultima che rimane disponibile dopo superati gli ostacoli inerenti. Il valore di questi ostacoli varia immensamente con la natura della macchina, e con le sue dimensioni; per modo che il cómputo della forza effettiva pigliando a base la indicata è sempre più o meno incerto. Nelle macchine non troppo grandi la forza effettiva può determinarsi direttamente per mezzo del freno di Prony, in cui tutta la potenza motrice si volge a superare un attrito artificiale e che può misurarsi, e il quale per conseguenza ci dà il valore della forza effettiva svolta dalla macchina nelle circostanze date.

123. In una terza maniera di esprimere la potenza delle motrici a vapore, si assume che operi sullo stantuffo la pressione differenziale costante di mezza atmosfera; e si calcola poscia come nel cercare la forza indicata. Talvolta si assume pure la velocità dello stantuffo. S' intende che questa maniera di procedere non rappresenta per nulla la potenza vera della macchina, dà solamente cifre di convenzione; e i cavallivapore ottenuti così diconsi perciò nominali.

PARTE VIII.

I Propulsori e le Macchine Marine.

LEZIONE XXV.

124. Propulsione delle Navi.—125. Ruote a Pale.—126. Propulsore a Elica. —127. Sistemi di Macchine Marine.

Appendice : — Compendio della Lezione sui Propulsori e le Macchine Marine.

124. *Propulsione delle Navi.* — Dicesi *propulsione* lo spingere un bastimento a moto più o meno celere sulla superficie del mare. E tal moto può procurarsi in due maniere diverse : per l' opera di una forza esterna alla nave, come quando si spinge una barca dalla spiaggia, o quando un bastimento corre per effetto del vento, ecc.; ovvero per mezzo di una forza generata dentro della nave medesima, come quando un palischermo vien mosso dal remigatore. Ed è quest'ultimo il caso dei piroscafi, e il solo, per conseguenza, che ci riguarda.

Perchè una forza qualunque possa operare è necessario che vi sia un punto di appoggio ; e in vero l' effetto parvente e sensibile dell' operar di una forza si è il moto (1), e il moto presuppone sempre due corpi al-

(1) Vedi § 118.

Digitized by Google

lontanati, una distanza maggiore frapposta fra due punti che dapprima erano più vicini: e da ciò la necessità evidente di due corpi, sia che separandosi si muovano tuttadue, sia che l'uno faccia di punto affatto fermo all'altro. Quest' ultimo caso è solamente imaginario, poichè nessuna cosa esiste che non ceda più o meno all' impulso d' una forza anche oltremodo piccola. Nella propulsione prendiamo generalmente per punto di appoggio la inerzia dell' acqua del mare : spingiamo questa in direzione contraria a quella in cui vogliamo muovere la nave, ed essa per la propria inerzia resiste a quella spinta, reagisce, per modo che vien mossa pure la nave. La potenza applicata produce perciò due effetti: spinge indietro l'acqua del mare, e spinge in avanti il bastimento; ed è chiaro che il propulsore sarà tanto più perfetto quanto meno farà muovere l'acqua, e quanto più il piroscafo; poichè il moto comunicato all' acqua è per noi perduto. S' intende per altro che, essendo il punto d'appoggio fornito dall'inerzia, e non manifestandosi questa se non nei corpi in moto, niun propulsore può utilizzare tutta la potenza applicatagli: è mestieri che una certa parte s'impieghi a rimuovere l'acqua.

I propulsori consistono, dunque, essenzialmente in certi ordegni mossi dalla macchina e che spingono indietro una massa più o meno grande dell'acqua del mare; la velocità di cui sono animati si divide, come si disse, fra il bastimento e l'acqua : la velocità data all'acqua in direzione contraria al moto della nave dicesi il *recesso* del propulsore, e suole variare fra $\frac{1}{3}$ e $\frac{1}{4}$ di quella che anima il propulsore medesimo; ed oltre al recesso ci possono essere altre perdite di potenza, per esempio il propulsore può comunicare movimento all' acqua in direzione non direttamente opposta a quella del piroscafo, può esser combinato in modo da stropicciare assai sull'acqua, e allora vien generato attrito, ecc. E ciò si vedrà meglio dalla descrizione seguente de' propulsori ordinariamente adoperati.

125. *Ruote a Pale.*—Quando moviamo una superficie piana e resistente, una lamina, dentro dell'acqua, in modo che la direzione del moto sia perpendicolare alla superficie stessa, l'acqua le fugge d'innanzi in tutti i versi, e siccome è la superficie mossa che dà moto all'acqua, così questa le resiste, e in tutti i versi, poichè la resistenza viene dall'inerzia. La risultante di tutte queste direzioni è evidentemente perpendicolare alla superficie, e giace nella linea medesima che rappresenta il moto della stessa. Possiamo dire per conseguenza che l'acqua respinge perpendicolarmente la superficie mossa, dato che questa si muova in direzione perpendicolare a sè stessa. In oltre, quando si muove la lamina nell'acqua, non potendo questa accorrerle dietro in modo da riempire sùbito lo spazio che la lamina va lasciando, rimane una specie di vuoto, o per lo meno una pressione minorata, dietro alla lamina moventesi; e ciò costituisce pure una resistenza al suo moto e un'altra sorgente di reazione nell'acqua. La direzione in cui opera è quella medesima della resistenza del davanti, cioè perpendicolare alla faccia della lamina.

Sia *a*, fig. 150, una pala fermata in direzione radiale a un braccio, imbiettato ad un albero *b* posto a traverso della nave, e fatto roteare nel verso della freccia per un mezzo qualunque. Dicemmo che l'acqua resiste al moto della lamina perpendicolarmente alla superficie; e quindi nella posizione della figura, la spinta reagente dell'acqua è rappresentata dalla linea *ca*, e vogliamo supporre che la lunghezza di *ca* denoti l'intensità della forza con cui l'acqua reagisce. Questa forza tenderebbe a spostare la pala, e con lei il braccio e la nave, nella direzione *ca;* ma tale spostamento non può accadere : la nave ne sarebbe sollevata in aria ; e ne viene che la forza *ca* si scompone, e dà luogo a due altre forze, l'una delle quali ha la direzione in cui la nave può muoversi, e l'altra quella in cui è completamente resistita : la prima deve

Digitized by Google

essere di necessità orizzontale, e l'altra verticale, e il loro valore è rappresentato rispettivamente da *da*, e da *ea*. Abbiamo dunque che una porzione della forza adoperata spinge avanti il piroscafo e indietro l'acqua, l'altra tende a sollevare il piroscafo e a deprimere l'acqua. Il rapporto fra queste due porzioni va cangiando come cangia la positura angolare della pala: infatti quando questa si dispone verticalmente, la porzione *ea* sparisce, poichè la scomposizione non ha più luogo, essendo che la direzione in cui resiste l'acqua risponde a quella in cui si può muovere la nave. Varcata la verticale, la pala s'inclina nuovamente, ma dall'altro lato; e quindi la componente *ea*, invece di operare dal basso in alto; opera dall'alto in basso, tende perciò a deprimere il piroscafo e a sollevare l'acqua. In tutti i modi si ha in ogni punto del cammino della pala, dal momento in cui s'immerge fino a quando esce dall'acqua, una forza che tende a spingere avanti il piroscafo; sicchè se noi disponiamo varie pale intorno all'albero, in guisa che ce ne sarà sempre una abbastanza immersa, avremo un mezzo di effettuare la propulsione facendo roteare l'albero *b*; e si intende che a rendere eguale la spinta a' due fianchi, adoperiamo due di questi sistemi di pale roteanti, che costituiscono le *ruote a pale fisse*.

È chiaro che queste ruote debbano indurre una perdita notevole di potenza, poichè, oltre al recesso inevitabile, dànno movimento all'acqua in direzione diverse: così nella posizione della figura, l'acqua non solo è mandata indietro secondo *ad*, ma è pure spinta in giù secondo *ae*; e dall'altro lato della verticale è spinta in su; e questi movimenti comunicati all'acqua significano lavoro meccanico gettato via. Perciò queste ruote si adoperano pochissimo oggidì, e ad esse si sostituiscono quelle a *pale articolate*. Vedemmo che nell'istante in cui la pala è verticale, scomposizione di forza non ne avviene, e però che opera tutta utilmente, cioè mandando l'acqua

direttamente indietro; ed è manifesto che ove si potesse ottenere che le pale operassero ognora in tal guisa, sarebbe limitata assai la perdita di lavoro, poichè sarebbe comunicato all'acqua solamente il moto in verso poppa, e la non sarebbe agitata in altri versi. Lo scopo delle ruote a pale articolate è appunto di ottenere possibilmente questa condizione, e la fig. 151 può dare una idea de' mezzi a ciò adoperati : le pale, invece di essere fissate una volta per sempre secondo i raggi, sono legate all'armatura della ruota per mezzo di pernj che posson girare alquanto dentro appositi occhi fermati nella ruota; per modo che la pala può pigliare varie posizioni angolari rispetto al raggio. Sul dietro di ciascuna pala è imperniato un braccio ad angolo retto, e tale braccio è unito a mezzo di un connettore al cerchio dell' eccentrico *a;* questo è fermato al fianco del piroscafo, e il suo anello si muove intorno insieme con la ruota. Consideriamo adesso la pala che trovasi verticale sotto l'albero, e vedremo come questa disposizione tende a mantenere, per tutto il cammino utile, la verticalità della pala: muovendosi la detta pala in verso sinistra, la distanza fra il perno della pala e il centro di *a* si va allungando, poichè il pernio descrive una circonferenza intorno all'asse dell' albero, e invece l'eccentrico rimane fermo alla destra dell' albero medesimo; ne viene che il braccio, il quale prima era ad angolo retto col raggio, si va inclinando verso il centro della ruota e volge quindi la pala, in maniera da correggere l'inclinazione che va pigliando il raggio, e mantenerla a un dipresso verticale. Similmente accade dall' altro lato; poichè dal momento dell' immersione, la distanza fra il pernio della pala e il centro dell'eccentrico si va allungando pur essa, e quindi il braccio vien tirato sempre più in dentro, e la pala si va inclinando in guisa da tenersi vicina alla verticale. In tal modo l'acqua vien spinta più direttamente indietro, e per

conseguenza si agita assai meno, e la propulsione riesce più efficace.

Il movimento impresso al piroscafo è eguale a quello del propulsore, meno il recesso. Con le ruote, la velocità delle pale riesce assai grande con un numero comparativamente piccolo di giri dell'albero; e tanto più, quanto più grande è il piroscafo, poichè il raggio della ruota deve giungere dall'orlo di quello fino alla superficie del mare. Supponiamo che il piroscafo debba avere la velocità di 12 chilometri all'ora, cioè di metri 200 al minuto; supposto un recesso di $\frac{1}{4}$, la velocità media delle pale dovrà essere:

$$200 + \frac{200}{4} = 250 \text{ metri};$$

e supposto che la circonferenza media della ruota sia circa 12 metri, abbiamo che il numero di giri della ruota sarebbe circa 20 al minuto. Infatti la velocità delle ruote a pale suole variare fra i 15 e i 30 giri al minuto; secondo le dimensioni. Da questa lentezza della rotazione ne viene che la macchina assume grandezza notevole (§ 112, § 117) rispetto alla potenza svolta; ove si potesse avere un propulsore che permettesse alla macchina una maggiore velocità, si potrebbe ottenere la medesima potenza con una macchina più piccola, più leggiera, meno costosa. Oltre al dover adoperare una macchina più grande, che forse non sarebbe poi grave svantaggio, con le ruote a pale si ha l'inconveniente di rendere il piroscafo men buono come nave a vela: e si comprende infatti come queste mostruose sporgenze a' fianchi debban nuocere assai in cattivo tempo; e l'effetto laterale del vento sulle vele, facendo inclinare il piroscafo, rende la immersione dell'una ruota maggiore di quella dell'altra, e ciò sforza la macchina concentrando la resistenza da

un lato. Dippiù, per le navi da guerra le ruote a pale non sarebbero adattate, essendo del tutto esposte a' projettili nemici. Per tali cagioni, ed altre che non possiamo qui addurre, furono adoperate i propulsori ad elica, in cui l'effetto si ottiene da organi rotanti con maggiore velocità, del tutto sommersi, più leggieri e meno costosi. Tanto che si preferiscono sempre, salvo i casi in cui vuolsi applicare forza grandissima, come negli *avvisi* da guerra, ovvero dove il piroscafo non ha da lottare con le tempeste, come per le brevi traversate, pei laghi ecc.

126. *Propulsore a Elica.*—Abbiamo veduto nel § precedente come l'acqua, in virtù della sua inerzia, oppone resistenza ad una pala che si muova perpendicolarmente alla propria faccia; ed è manifesto che siccome tale resistenza viene dall'esser mossa l'acqua, così una pala incontrerà resistenza più o men grande siasi qualsivoglia la direzione del suo moto, purchè rimuova l'acqua, e tale resistenza sarà direttamente opposta al verso in cui l'acqua è rimossa. Sia *ab*, fig. 152, la poppa di una nave, e sia *c* un albero che esca dalla poppa, sotto il livello dell'acqua, come vedesi in B; sull'albero è fissato un braccio avente in cima una paletta situata obbliquamente. Si dia moto di rotazione all'albero nel verso indicato dalla freccia: la paletta tenderà a rimuovere l'acqua nel verso medesimo della rotazione; se non che, per l'obbliquità della superficie, l'acqua non le fugge d'innanzi direttamente, sibbene è sviata, in parte, indietro, è come se fosse riflessa e mandata da prora a poppa; come si vede dalle frecce nella fig. C. Ma l'acqua oppone resistenza ad essere mandata indietro, e quindi reagisce, e alla sua volta spinge avanti la paletta, e questa essendo legata all'albero, e l'albero disposto in modo da non potersi muovere per lo lungo nella nave, avviene che questa ultima subisce una spinta in avanti, equivalente a quella che manda l'acqua indietro. Si ha dunque che facendo roteare una paletta obbliqua situata alla poppa della

Digitized by Google

nave si ottiene la propulsione di questa. S'intende che per ottenere la superficie necessaria alla propulsione efficace del piroscafo, possiamo adoperare varie palette disposte simmetricamente intorno all' albero, poichè ciascuna di esse opererà come quella che abbiamo investigato.

Ma se noi adoperiamo le palette piane, come supposto sopra, avremo una grande perdita di potenza, per la ragione che i varj punti di esse palette non operano di accordo: le parti più lontane dal centro si muovono con maggiore velocità che non quelle più vicine; e ne viene che queste spingono indietro l'acqua meno velocemente di quelle, sì che àvvi divario fra le tendenze delle varie porzioni della superficie. La velocità con cui l' acqua è respinta indietro varia: con la velocità effettiva con cui rotea la paletta; e con l'angolo fatto da questa con l'asse della nave : la prima cagione è evidente in sè stessa, e l' altra sarà chiara considerando che la riflessione dell'acqua avviene appunto perchè è inclinata la paletta; se questa fosse disposta ad angolo retto con l' asse, è manifesto che l'acqua non sarebbe mossa niente affatto, e quanto più piccolo diviene l'angolo fra l'asse e la paletta, tanto maggiore sarà la velocità con cui l'acqua è mandata in dietro; e se noi esageriamo la cosa, ponendo la paletta ad angolo piccolissimo con l'asse, avremo che la paletta tenderà a sviare l'acqua in dietro tanto rapidamente che quella non potrà obbedirle, e sarà invece cacciata innanzi, in gran parte, nel verso della rotazione. Noi abbiamo che la velocità della paletta diminuisce secondo che si accorcia la sua distanza dal centro, e viceversa; ora se facciamo diminuire l'angolo fra la paletta e l'asse, a misura che diminuisce la distanza, avremo compensato con l'aumento di velocità dovuto alla diminuzione dell'angolo, al difetto di velocità per la maggiore vicinanza all'asse. Così nella fig. 152, in B, abbiamo che il lembo esterno della paletta, essendo a distanza presso

Digitized by Google

a poco doppia dell' asse, corre con velocità doppia di quella del lembo interno; e quindi se la paletta fosse piana, il lembo esterno caccerebbe via l'acqua più rapidamente, il doppio, del lembo interno: ma se noi diminuiamo l'angolo del lembo interno tanto da compensare al suo difetto di velocità, avremo che i due lembi tenderanno ad indurre nell'acqua, e nel piroscafo, la medesima velocità. E s'intende che ciò che abbiamo detto intorno ai due lembi, vale pure per ogni parte della superficie, sì che la paletta invece di presentare unico angolo dappertutto, sarà piegata ad angolo diverso in ogni parte, sarà ciò che i geometri dicono una superficie storta.

E i geometri ci dànno una superficie storta che presenta appunto la proprietà necessaria che abbiamo accennato sopra. Dicesi elicoide, e viene nella maniera seguente: sia una linea retta posta perpendicolarmente sopra un asse; se noi volgiamo l'asse, senza spostarlo, la retta perpendicolare descriverà un circolo, come se fosse un disco posto sull'asse; ma se nel tempo medesimo che volgiamo uniformemente l'asse, noi lo andiamo spostando per lo lungo, con moto anche uniforme, ne verrà che la retta andrà descrivendo una superficie continua indefinita, e tale superficie si addimanda elicoide. Se noi facciamo elicoidali le nostre palette, esse respingeranno l'acqua indietro con eguale velocità da ogni loro parte, e ciò è manifesto dalla maniera in cui vien generata la superficie: e infatti la linea retta che genera l'elicoide si avanza uniformemente in tutta la sua lunghezza, e ciò vuol dire che l'acqua vien riflessa indietro con eguale velocità da ogni parte della superficie elicoidale.

I propulsori detti ad elica, ovvero semplicemente *eliche,* consistono in un numero più o meno grande, vogliamo dire da 2 a 6 per lo più, di palette elicoidali disposte intorno a un mozzo che le unisce all' estremità dell'albero; e tanto le palette che il mozzo sogliono esser formati in unico pezzo di ghisa, o talvolta di bronzo.

Nella fig. 153 abbiamo un esempio di elica a due ali. Troviamo in pratica forme svariatissime di eliche; e in vero operano molte circostanze di cui non abbiam tenuto conto nella spiegazione sommaria fatta sopra: l'acqua in cui si muove il propulsore non è ferma, poichè viene dai fianchi della nave con un certo moto laterale; l'attrito fra le ali e l'acqua induce questa a roteare alquanto, sì che si sviluppa una certa forza centrifuga; queste e mille altre circostanze rendono complicatissima la teorica del propulsore in discorso; per modo che ogni costruttore, quasi direi, ha il suo modo particolare di comprendere la cosa, e dà alle sue eliche quelle forme che più si confanno con le sue idee. Tuttavia guardando il propulsore a elica nel suo tutto insieme, e trascurando le piccole differenze, troviamo che consta sempre di palette elicoidali.

127. *Sistemi di Macchine Marine.*—Per l'indole diversa delle ruote a pale e dell'elica, avviene che l'albero nelle macchine da ruote gira assai più lentamente che in quelle da elica; sì per il maggior diametro delle ruote, e sì ancora perchè col propulsore a elica la spinta è indiretta, e quindi il moto rotatorio delle palette può essere, ed è ordinariamente, maggiore di quello dell'acqua e del piroscafo. Per tale cagione le macchine da ruote son sempre relativamente più poderose di quelle da elica, e vi si possono adoperare pezzi mobili pesanti; e infatti i due sistemi più usitati per le ruote sono: quello a bilanciere, e quello a cilindro oscillante, e nè l'uno nè l'altro sarebbe utile per l'elica, a cagione de' gravi pezzi moventisi.

La fig. 154 ci porge l'alzato laterale di una macchina marina a bilanciere: l'asta dello stantuffo termina in un pezzo a croce *a* da cui pendono due connettori, di cui un solo è visibile nel disegno, e lo legano a' due bilancieri posti a' fianchi della macchina; il connettore principale *b c*, si biforca nella parte inferiore in

guisa da articolarsi alle estremità de' bilancieri; i cuscinetti sono sostenuti, come si vede, sopra un *castello* di ghisa, e in *d* si vede in linee punteggiate una delle ruote. a pale. La valvola distributrice è mossa dal meccanismo ad eccentrico libero (§ 71), infatti in *e* si vede il contrappeso dell'eccentrico, e più basso il gancio. Lo stantuffo della tromba ad aria riceve movimento dai bilancieri per mezzo di un pezzo a croce ed una coppia di connettori pènsili; *f* rappresenta tale pezzo e croce, e sotto di esso vedesi il coperchio della tromba ad aria; questa comunica nella parte inferiore col condensatore *g*, come nella macchina di Watt (vedi la fig. 29). L'albero è munito di due manovelle doppie (pag. 175) poste ad angolo retto, e sopra ciascuna di esse opera una macchina separata e completa. Questo sistema riesce complicato e poderoso assai, a cagione della moltiplicità dei pezzi, e la macchina occupa grande spazio nel piroscafo; tanto che oggidì si adoperano più volentieri le macchine a cilindro oscillante.

Ne abbiamo un esempio nella fig. 155 (1): in A abbiamo il piroscafo spaccato longitudinalmente, e in B per traverso; i cilindri *a, b,* invece di esser fissati al telajo della macchina sono sospesi sugli orecchioni *c, d,* uno de' quali si vede in sezione di punta in A; e ne viene che possono oscillare intorno a tali orecchioni, a guisa di un pezzo d'artiglieria; l'asta dello stantuffo va ad unirsi direttamente alla manovella, per modo che girando l'albero il cilindro va oscillando per seguire le varie inclinazioni assunte dall'asta. Per questo artifizio si ha una macchina assai compatta e oltremodo semplice. Gli orecchioni sono tubolari, e quelli esterni, come *c* ed *e* servono all'introduzione del vapore nei cassetti della distribuzione, infatti in *f, g,* si scorgono i tubi che vanno a

(1) Ho tolto questa figura e la precedente alla pregevole opera di Rankine « A manual of the Steam Engine and other Prime Movers. »

Digitized by Google

comunicare con la caldaja; gli orecchioni sono uniti a questi tubi a mezzo di scatole a trecce che permettono l'oscillazione nel tempo medesimo che congiungono benissimo i tubi; nella macchina disegnata ogni cilindro è munito di due cassette da distribuzione, a fine di equilibrare possibilmente il peso a' due lati del centro; per altro operano insieme nella maniera ordinaria. Il vapore è condotto a queste casse dagli orecchioni esterni mediante una fascia che circonda il cilindro; e dall'altro lato serve la fascia medesima a condurre agli orecchioni interni *d, h,* il vapore scaricato, e che poi passa al condensatore situato nello spazio in mezzo a' due cilindri; la tromba ad aria suol essere comune ad ambe le macchine, ed è animata a mezzo di un gomito fatto nel tratto mediano dell'albero, come si vede in B.

Il sistema che si adopera più comunemente per muovere l'elica ne' piroscafi mercantili, è quello a cilindro capovolto (pag. 327); la tromba ad aria, e quella circolante ove i condensatori sono a superficie, soglion muoversi mediante piccoli bilancieri appoggiati al castello della macchina, e articolati, a mezzo di connettori, ad un'estremità al pezzo di guida, all'altra alla tromba. Questo sistema si adopera sovente anche per le macchine a doppio cilindro, e si suol combinare in due maniere: o ponendo i due cilindri l'uno sopra dell'altro, unendone i due stantuffi ad unica asta; ovvero mettendoli l'uno a fianco dell'altro; ma in quest'ultimo caso i due cilindri costituiscono una sola macchina e in certo modo si perde il vantaggio delle manovelle disposte ad angolo retto.

La macchina a cilindro capovolto non si può praticare nelle navi da guerra, a cagione della positura troppo elevata ed esposta del cilindro; si fa uso invece, in tali navi, di macchine orizzontali: talvolta sono disposte come quelle da terra (pag. 328); ma pure facendo la gita assai breve rispetto al diametro del cilindro, lo spazio occupato è sempre notevole; sì che più spesso si fa uso delle mac-

Digitized by Google

chine *a connettore rovesciato* o di quelle ad asta tubolare (*à fourreau*). Nella fig. 156 abbiamo la disposizione generale della prima di queste, che si adopera molto anche nelle navi mercantili di grande portata: lo stantuffo è munito di due aste, *a, b,* che passano a' due lati della manovella a gomito, e l'una sotto, l'altra sopra dell'albero; sono riunite all'estremità per mezzo di un pezzo a croce storto che vedesi punteggiato in A, e nel cui centro èvvi una porzione cilindrica su cui si articola il connettore, come si vede. In questa maniera si ha un grande risparmio di spazio, poichè il cilindro si situa vicinissimo all'albero, mentre nella disposizione ordinaria ne è assai distante. Il condensatore suol mettersi dirimpetto al cilindro, e la tromba ad aria è mossa dal pezzo a croce medesimo.

Nella fig. 157 abbiamo lo spaccato di una macchina ad asta tubolare: allo stantuffo è unito un largo tubo il quale è abbracciato dalle scatole a trecce nei coperchj; il connettore si articola direttamente a un pernio posto dentro dell'asta tubolare, e questa ha diametro abbastanza grande da lasciar spazio al connettore di assumere la massima inclinazione a cui è costretto dalla manovella. Il condensatore è posto all'altro lato dell'albero, e la tromba ad aria a doppio effetto (pag. 312) è mossa da un'asta legata direttamente allo stantuffo, come si vede. Questa macchina ha il grande vantaggio di semplicità estrema; tuttavia presenta qualche vizio: la grande asta tubolare, esposta nell'interno, e anche in parte nel di fuori, all'aria atmosferica, opera come sorgente di raffreddamento; inoltre la grande superficie che essa espone alle scatole a trecce, può indurre attrito assai notevole ove queste sieno soverchiamente strette. E sembra che tali inconvenienti limitino l'uso della macchina ad asta tubolare a' soli piroscafi da guerra, in cui l'economia del combustibile è d'importanza secondaria, ed è invece essenziale la certezza dell'operazione; e a questo fine la semplicità del meccanismo è condizione necessaria.

Le macchine marine da elica si muniscono sempre, o quasi sempre, dell'arco di Stephenson (§ 72), tanto per la facile inversione del moto, quanto per l'espansione che se ne può ottenere; quantunque oggidì per le macchine marine si adoperino spessissimo le valvole separate da espansione (§ 61).

Digitized by Google

APPENDICE ALLA LEZIONE XXV.

Compendio della Lezione sui Propulsori e le Macchine Marine.

124. La propulsione delle navi si effettua per lo più pigliando a punto di appoggio l'acqua del mare: si spinge indietro una certa mole di questa, ed essa reagisce per la propria inerzia sull'ordigno che la rimuove, e tale reazione è appunto la forza che manda innanzi il piroscafo. Siccome l'inerzia non si manifesta se non nei corpi che ricevono moto, così è necessità che una parte più o meno grande del lavoro adoperato si spenda a muovere indietro l'acqua del mare, epperò il piroscafo non riceve tutta la velocità del propulsore, ma solamente una parte: quella che si perde dicesi il recesso del propulsore.

125. Le ruote a pale fisse consistono in certi tamburi a scheletro disposti a' fianchi del bastimento, e munite tutti intorno di pale, fermate nella direzione de' raggi, e che si immergono nell'acqua per un certo tratto del giro. Il piroscafo vien mandato avanti come una barca per l'opera dei remi; ma siccome per la direzione radiale delle palette la spinta di esse non è sempre diretta, avviene che l'acqua n'è rimossa pure d'alto in basso, e di basso in alto; e ciò significa una perdita di lavoro, poichè tali movimenti dell'acqua non ajutano per nulla la propulsione.

Perciò furono proposte le ruote a pale articolate, in

Digitized by Google

cui, mediante un eccentrico, è mantenuta a un dipresso la verticalità delle pale, per tutto il tempo della loro operazione; e si ottiene perciò maggiore effetto propulsivo da un dato lavoro della macchina. Con le ruote a pale la rotazione dell'albero è assai lenta, a causa del loro grande diametro, e perchè operano in maniera diretta; e perciò esse esigono macchine assai grandi e poderose; inoltre, le ruote a pale aggiunte a un bastimento lo rendono poco adatto alla navigazione a vela. A fine di evitare il peso eccessivo della macchina, e di lasciare che il piroscafo potesse all'uopo far buon uso delle vele, si adoperano più spesso oggidì i propulsori ad elica.

126. Ponendo un albero per lo lungo del bastimento, e facendolo sporgere dalla poppa, sotto il livello dell'acqua; e fissando all' estremità di tale albero un certo numero di palette oblique, si ottiene che la rotazione dell'albero, con le palette, spinge l'acqua in dietro e però la nave in avanti. Affinchè l' azione propulsiva di ogni parte delle palette sia uniforme, si dà ad esse forma elicoidale, d'onde questo propulsore venne detto : ad elica.

127. Le macchine più sovente adoperate per le ruote sono quelle a bilanciere, e quelle a cilindro oscillante. Le prime riescono complicate e poderose assai; le altre invece sono semplicissime, poichè l'asta dello stantuffo va ad articolarsi essa medesima alla manovella, e il cilindro oscilla sopra orecchioni per seguire i varj angoli assunti dall' asta. Per muovere l' elica si usano quasi sempre, nella marina mercantile, le macchine a cilindro capovolto. Nelle navi da guerra è necessario che le macchine sieno orizzontali, per essere sotto la linea di galleggiamento, e quindi al salvo dai projettili; e sogliono essere, o a connettore rovesciato, ovvero ad asta tubolare; sembrano preferibili le prime; poichè quelle ad asta tubolare hanno l' inconveniente di esporre grande superficie all'azione raffreddatrice dell'atmosfera; purtuttavia hanno il merito di estrema semplicità.

FINE.

Digitized by Google

INDICE.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

8121

10 ET 1879